

**L**andesanstalt für  
**L**andwirtschaft,  
**F**orsten und  
**G**artenbau

Werkzeug zur Modellierung der diffusen N- und P-Emissionen  
in Sachsen-Anhalt zur Umsetzung des Nährstoffkonzepts  
2010-2013

- Kurzfassung -



SACHSEN-ANHALT

FACHINFORMATIONEN

Impressum:

Herausgeber: Landesanstalt für Landwirtschaft, Forsten und Gartenbau  
des Landes Sachsen-Anhalt  
Strenzfelder Allee 22, 06406 Bernburg  
Tel.: (03471) 334-0 Fax: 03471 / 334 105  
[www.llfg.sachsen-anhalt.de](http://www.llfg.sachsen-anhalt.de)

Bearbeiter: **Gesellschaft für Angewandte Landschaftsforschung bR**  
Dr. Michael Gebel  
Dr. Stefan Halbfaß  
Dipl.-Ing. Stephan Bürger

**INL - Privates Institut für nachhaltige Landbewirtschaftung GmbH**  
Dipl. agr. Ing. Peter Deumelandt

**Mitteldeutsches Institut für angewandte Standortkunde und Bodenschutz**  
Dr. Michael Steininger

Die Verwendung des Materials ist nur mit Genehmigung und Quellenangabe gestattet.

Bernburg, den 10.Februar 2012

# 1. Einführung

## 1.1 Aufgabenstellung

Auf Basis der Bilanzmodule P-BILANZ und N-BILANZ aus dem Modell STOFFBILANZ soll ein Datenbank gestütztes Werkzeug erstellt werden, womit die N- und P-Emissionen aus den relevanten diffusen Quellen systematisch erfasst, fortgeschrieben und für den Modellverbund an das Modell GROWA/WEKU über eine Schnittstelle bereitgestellt werden können.

Gleichzeitig soll das Werkzeug die turnusmäßige Berichterstattung zu Indikatoren unterstützen, einen Beitrag zur Maßnahmeplanung und zur Abschätzung der Maßnahmewirksamkeit liefern.

Bei der N-Bilanzierung ist sowohl der organische als auch der anorganische N-Pool (Umsatz- und Immobilisierungsprozesse) im Boden zu berücksichtigen, um eine Verbesserung der Abbildung von bewirtschaftungsbedingten Effekten zu erreichen.

Sämtliche Modellparameter, Eingangsdaten und Berechnungsergebnisse aller Modellläufe (Szenarien) sollen in einer Geodatenbank (PostgreSQL / POSTGIS) geführt werden. Dabei bezieht sich die Szenariofähigkeit nicht nur auf die Berechnungsergebnisse, auch Modellparameter und Eingangsdaten sollen für jedes Szenario eingestellt und in der Datenbank abgelegt werden.

## 1.2 Rahmenbedingungen

Modellraster:	100 m x 100 m
Digitale Basisdaten:	werden vom Auftraggeber attribuiert übergeben
Modellierung:	flächenbezogene N-Bilanz (ohne Denitrifikation) für das LVG sowie wie für die Hauptnutzungsarten AL, GL und Wald im LVG für die Jahre 2007, 2008, 2009 und im dreijährigen Mittel, flächenbezogene P-Bilanz für die Jahre 2007, 2008, 2009 und im dreijährigen Mittel sowie anteilige Frachten für die jeweiligen Eintragspfade
Modelldurchläufe:	A) Ist-Zustand (laufender Bewirtschaftungszeitraum), B) Szenarien - Gesamtmaisbaufläche wird auf 150.000 ha erhöht (Erhöhung bei Silomais, Flächenabzug bei Winterraps) - Gesamtmaisbaufläche wird auf 150.000 ha erhöht (Flächenabzug bei Winterweizen, Wintergerste, Winterraps) - Aufgrund des technischen Fortschritts erhöhen sich die N-Entzüge um 5% (bei Winterweizen, Winterroggen, Wintergerste und Winterraps) - freiwillige Gewässerschutzleistungen
Einschränkungen:	Modellierung erfolgt nur für Acker, Grünland, Wald keine Betrachtung von Punktquellen

## 2. Datengrundlagen

1. Vergleichsgebiete	
Kartografische Grundlage:	Naturräume Sachsen-Anhalt Natürliche Standorteinheiten Sachsen-Anhalt Gemarkungen Sachsen-Anhalts
Digitale Datenbasis:	Gemeindedatenspeicher - gemdat.dbf Karte der MMK - Mmk.shp Gemarkungen - gemark_bkz08.shp
Übergabener Datenbestand	Lvg_st.shp
Methode:	Ausgrenzung homogener Gebiete in Form aggregierter Gemarkungen auf Basis der bodenkundlichen Standorteigenschaften, der naturräumlichen Gegebenheiten und des Klimas
Kurzbeschreibung:	Die Vergleichsgebiete stellen homogene Landschaftseinheiten aus Sicht der Boden-, Klima- und Reliefverhältnisse dar und werden räumlich durch den Verlauf von Gemarkungsgrenzen abgegrenzt. Den Gebieten wird eine einheitliche Agrarstruktur unterstellt, so dass Anbaustruktur, Bodenbearbeitung, Düngung und Ertrag innerhalb der Gebiete als Gleichverteilung betrachtet wird.  Sie stellen den Bezugsraum für die Disaggregation landkreisbezogenen Ertragsdaten.

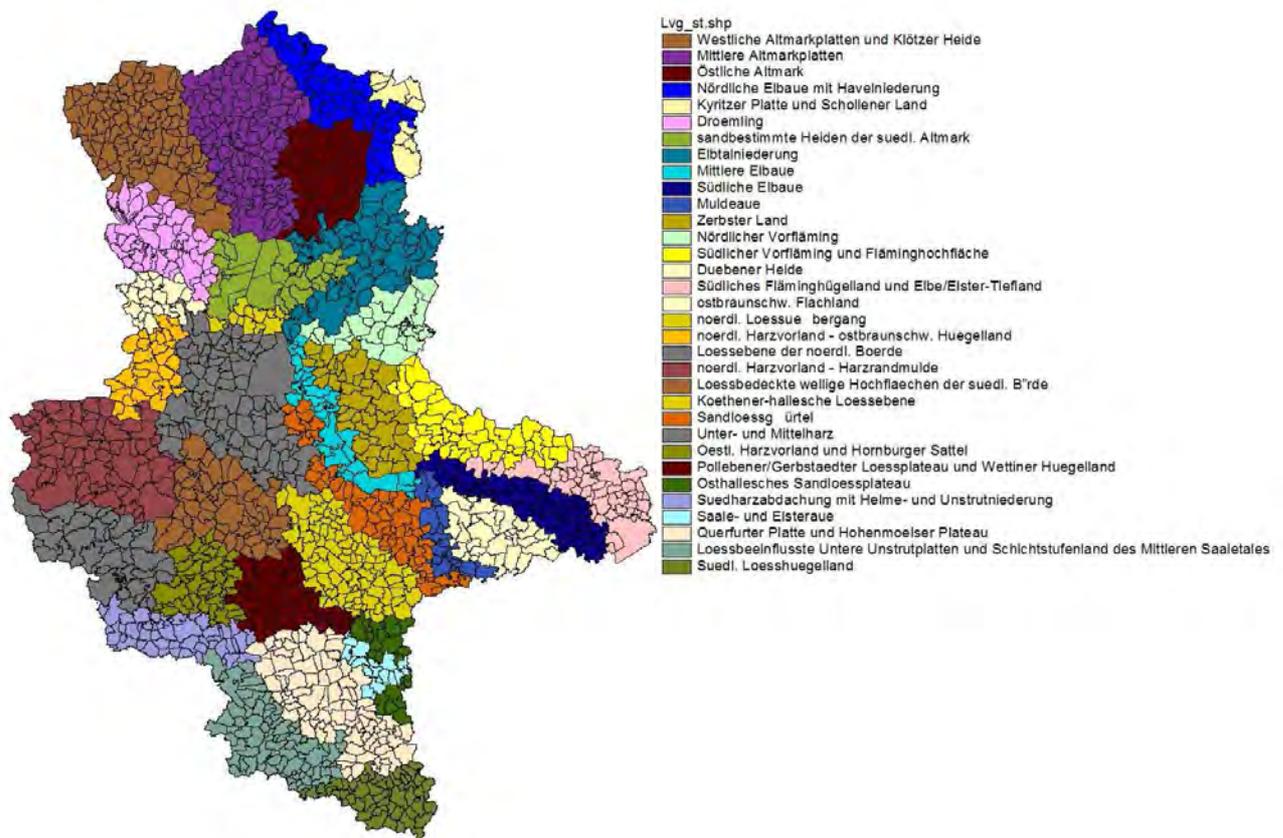


Abb. 1: Landwirtschaftliche Vergleichsgebiete

2. Bodendaten	
Kartografische Grundlage:	Bodenübersichtskarte 1:200.000 Sachsen-Anhalt (BUEK 200)
Digitale Datenbasis:	Buek200.shp Legendeneubersetzung_BUEK_in_KA4_n_Hartmann.xls Datenbestand landwirtschaftliche Bodenuntersuchung Sachsen-Anhalt
Übergebener Datenbestand	Bodeneinheiten_stoffbilanz.shp Kennwerte_boden_stoffbilanz.xlsx
Methode:	<u>Einstufung Bodentyp und Bodenarten nach:</u> Gebel, M u. a. (2010): Stoffbilanz - Modellerläuterung <u>Skelett, Humus, Kalk:</u> Ad-hoc-AG Boden (2005): Bodenkundliche Kartieranleitung, 5. Aufl. - E. Schweizerbartsche Verlagsbuchhandlung.
Kurzbeschreibung:	Die Erstellung des Bodeneinheitslayers basiert auf eine Einstufung der auskartierten Legendeneinheiten der BUEK 200 entsprechend der Nomenklatur des Modells `Stoffbilanz`. Die Legendeneinheiten der BÜK wurden hinsichtlich der Modelleingangsparameter Bodentyp, Bodenart, Skelett, und Kalkgehalt basierend auf den Angaben der KA5 interpretiert und in die Modellnomenklatur überführt.  Der Humusgehalt und das C/N-Verhältnis des Oberbodens wurden aus dem Datenbestand der landwirtschaftlichen Bodenuntersuchungen Sachsen-Anhalts statistisch ermittelt und auf die Legendeneinheiten übertragen.

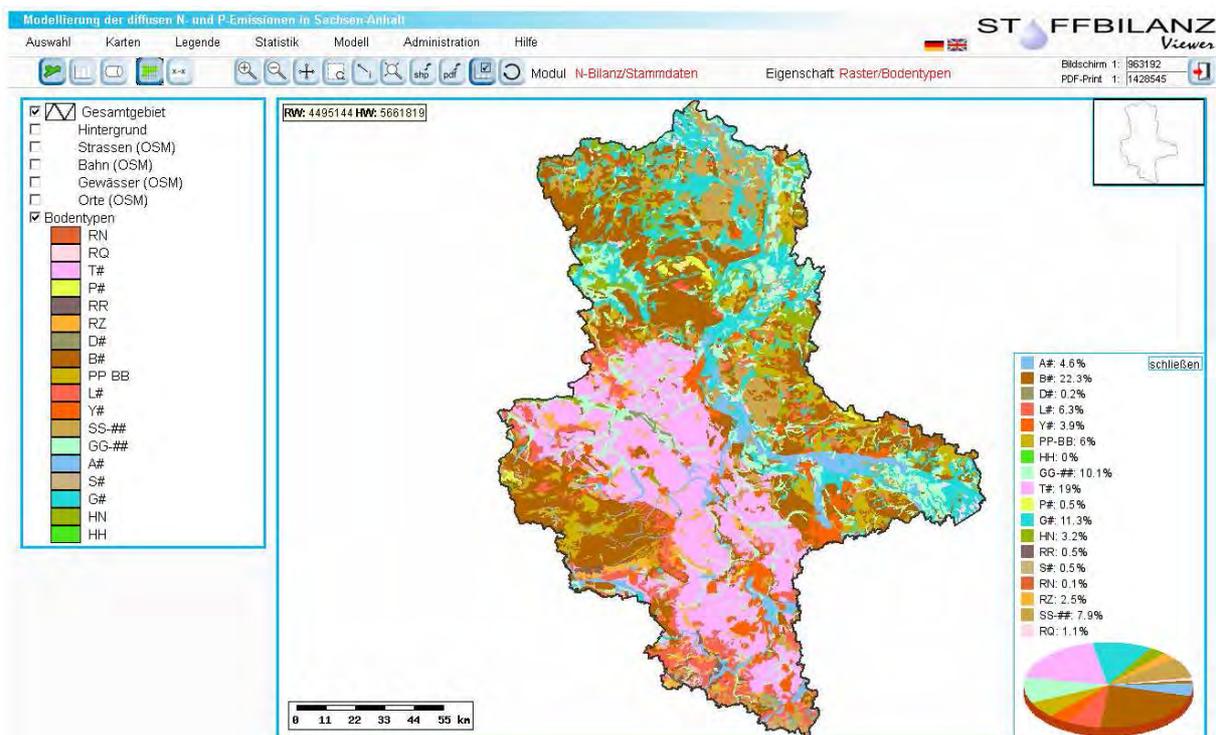


Abb. 2: Bodentypen (Quelle: Sachsen-Anhalt)

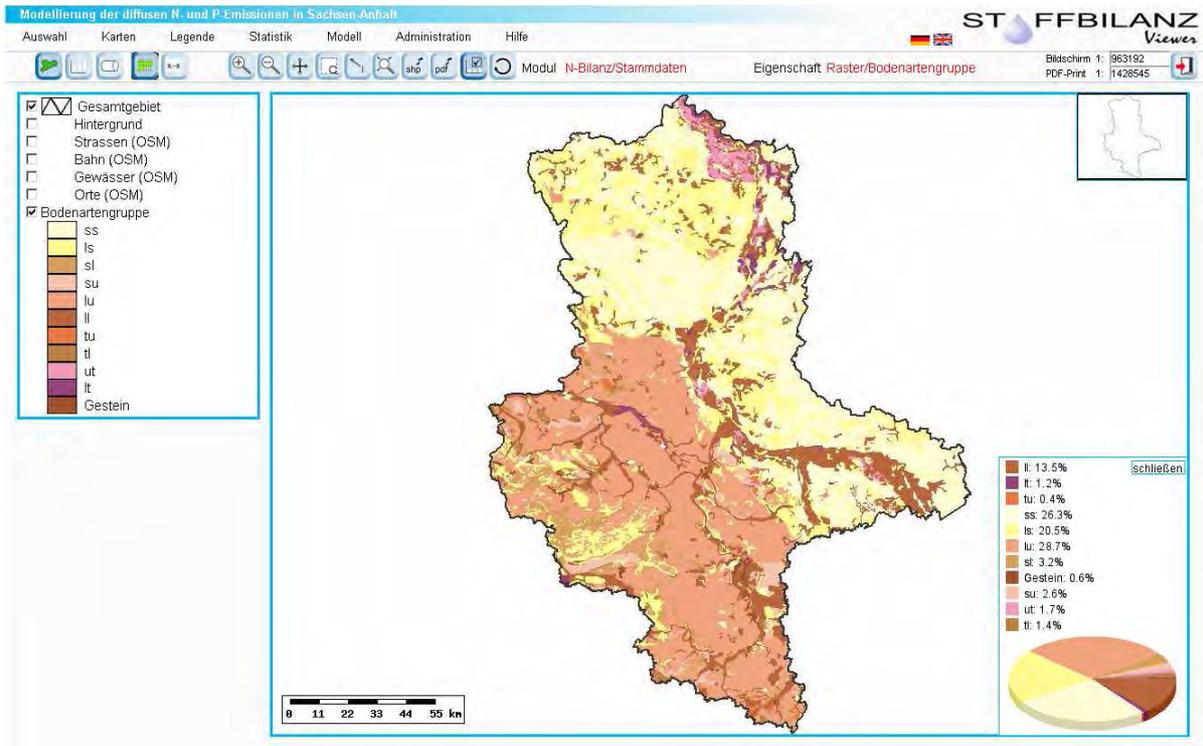


Abb. 3: Raster bezogene Bodenartengruppen (Quelle: Sachsen-Anhalt)

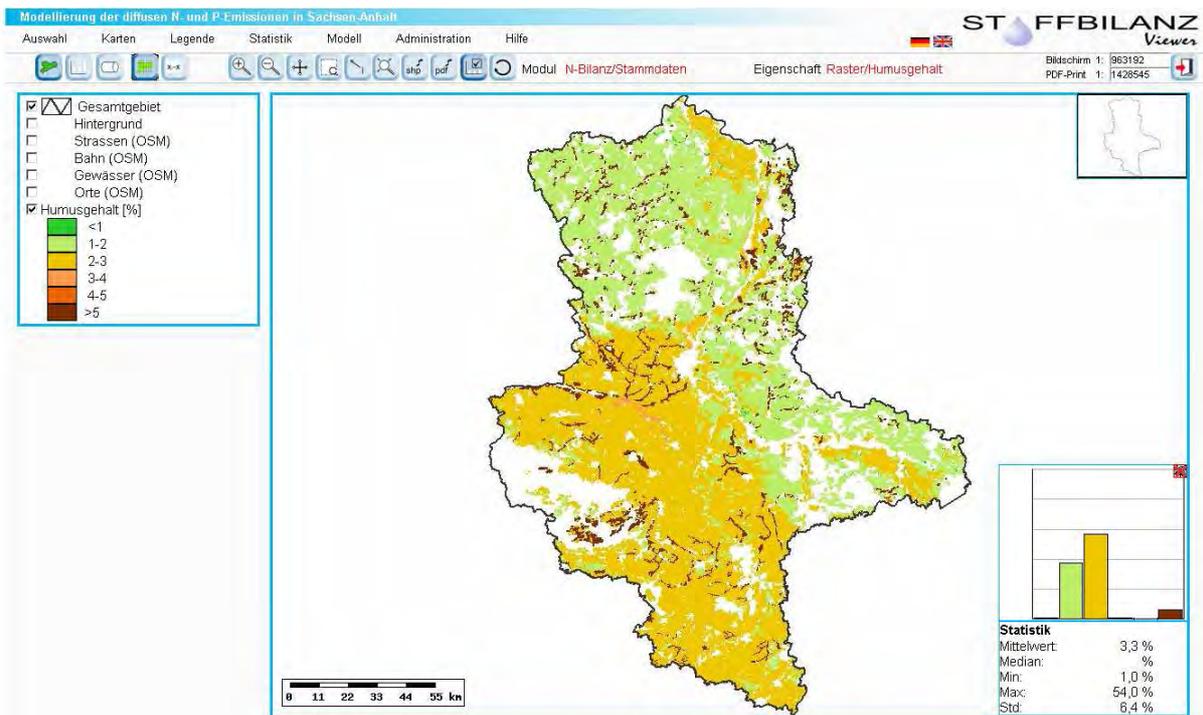


Abb. 4: Raster bezogene Humusgehalte Oberboden - Acker (Quelle: Sachsen-Anhalt)

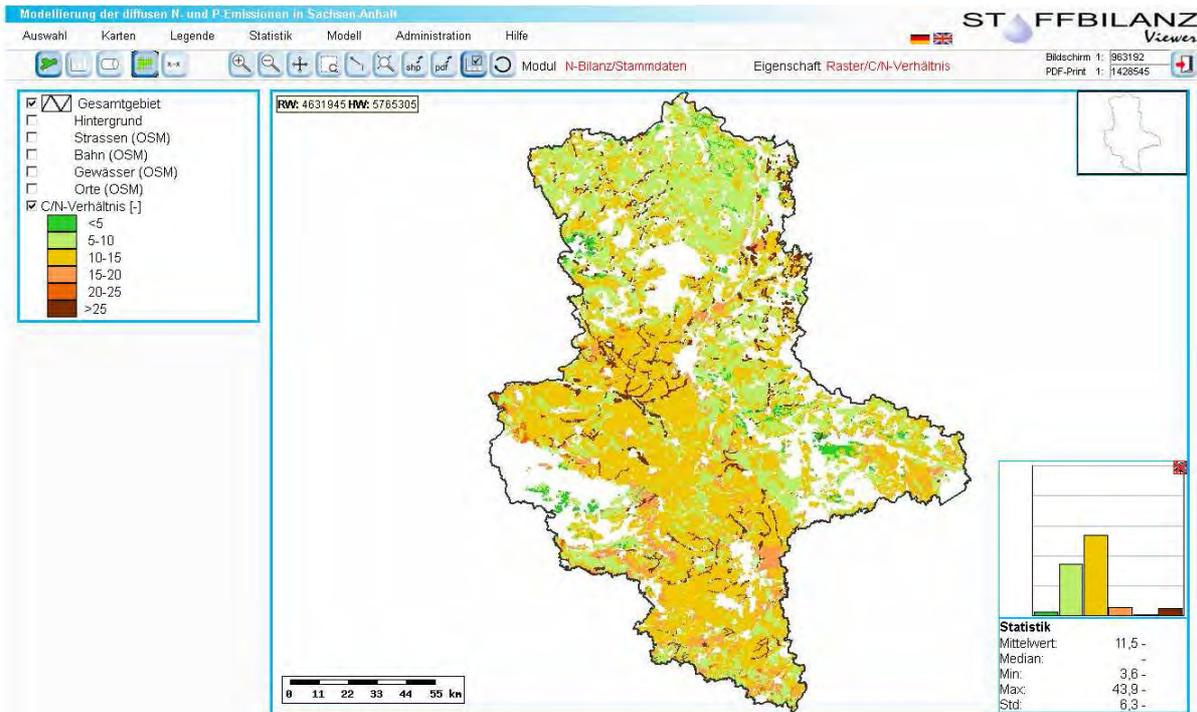


Abb.5: Raster bezogenes C/N-Verhältnis Oberboden - Acker (Quelle: Sachsen-Anhalt)

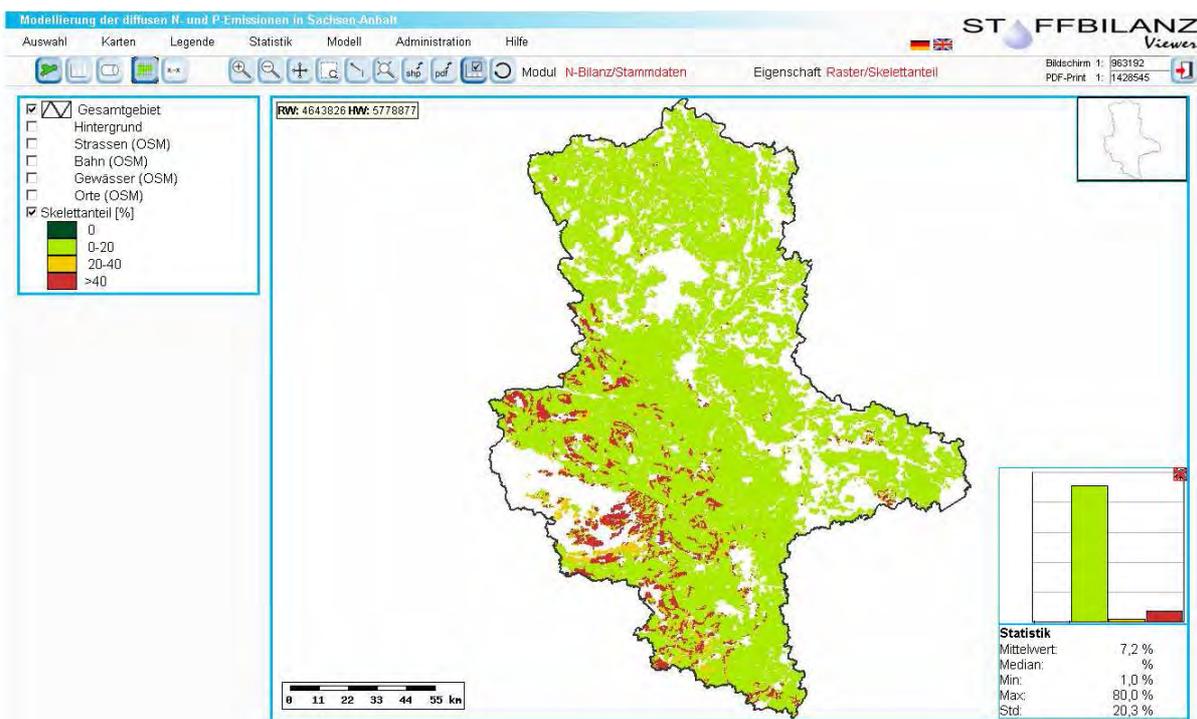


Abb. 6: Raster bezogene Skelettgehalte Oberboden Acker (Quelle: Sachsen-Anhalt)

3. Phosphor-Gesamtgehalte Oberboden für Acker, Grünland, sonstige LN und Wald	
Kartografische Grundlage:	Bodengruppe Düngung Flächennutzung Gemarkungen Sachsen-Anhalts
Digitale Datenbasis:	Karte der MMK - Mmk.shp ATKIS-Daten INVEKOS-Daten Stand 2006 Karte der Vergleichsgebiete Sachsen-Anhalt Datenspeicher ACUB-Bodenuntersuchung bis 1990 Datenspeicher Bodenuntersuchung Sachsen-Anhalt Datenspeicher Klärschlammuntersuchung Sachsen-Anhalt
Übergebener Datenbestand	P_Gehalte_nach_Nutzung_Uebergabe_GALF.xlsx
Methode:	Fier, A. und W. Schäfer (2007): Abschätzung von Phosphatausträgen aus Ackerböden in Niedersachsen. - In: GeoBerichte, Heft 2, S. 33-77 SMUL (Internet): Bodenmessnetz Freistaat Sachsen, Hintergrundwerte. - Tabelle 4-29: Substrat- und nutzungsbezogene $P_{ges}$ -Hintergrundwerte
Kurzbeschreibung:	Die Phosphorgesamtgehalte wurden für die Acker- und Grünlandflächen Sachsen-Anhalts differenziert nach den Bodengruppen Düngung mittels der Regressionen nach Fier und Schäfer (2007) berechnet. Eingangsparemeter hierfür bildeten die Phosphorgehalte (DL), die organische Substanz, der pH-Wert, der Ton- und Sandgehalt. Die Datenbasis für die Ableitung der Eingangsparemeter bildeten die Datenspeicher der Bodenuntersuchungen. Abschließend erfolgte ein Abgleich mit den Ergebnissen der Bodendauerbeobachtungsflächen. Die P-Gehalte unter Wald wurden entsprechend der Hintergrundwerte Sachsens eingestuft.

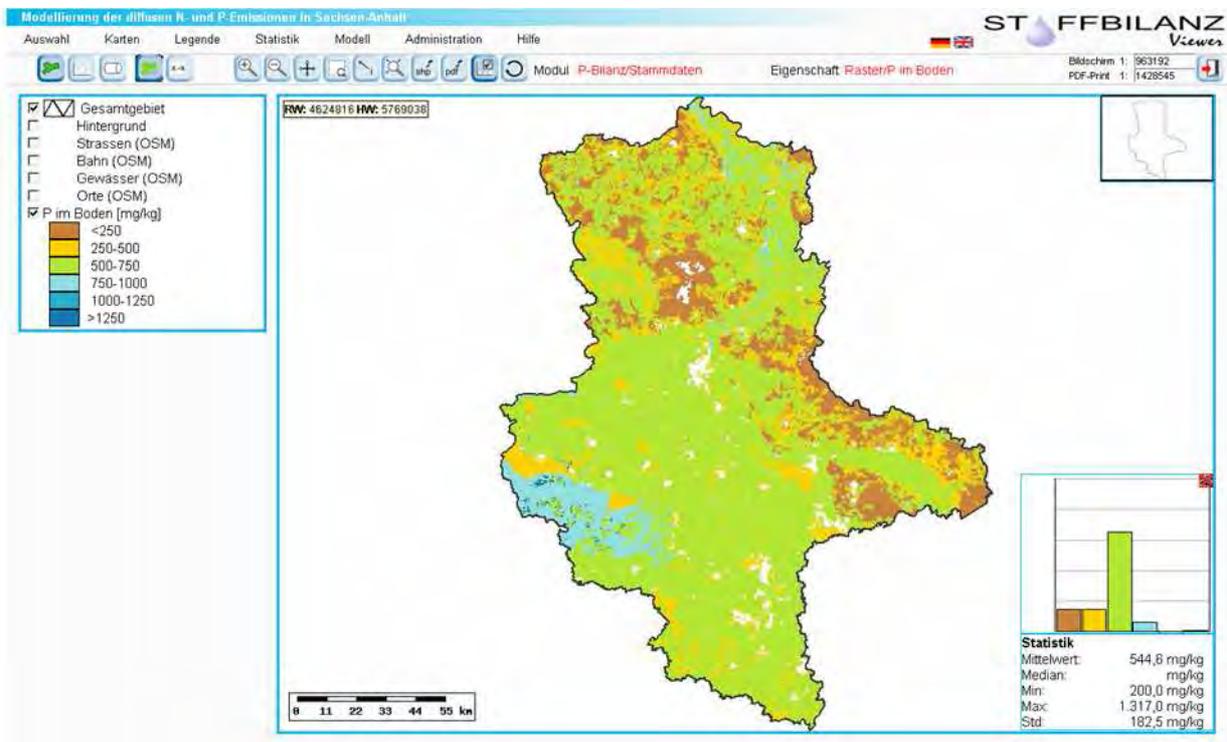


Abb. 7: Raster bezogene  $P_t$ -Gehalte im Oberboden (Quelle: Sachsen-Anhalt)

4. Mittlere Jahrestemperatur	
Digitale Datenbasis:	DWD-Datenspeicher Klima Sachsen-Anhalt 1961 bis 1990 1-km-Raster
Übergebener Datenbestand	Temperatur_1km_dwd_mw1961_1990.xlsx
Kurzbeschreibung:	Der übergebene Datenstand entspricht den Originaldaten des LAU, der durch den DWD im Jahre 2001 für Sachsen-Anhalt aufbereitet und in den LS 110 transformiert wurde.

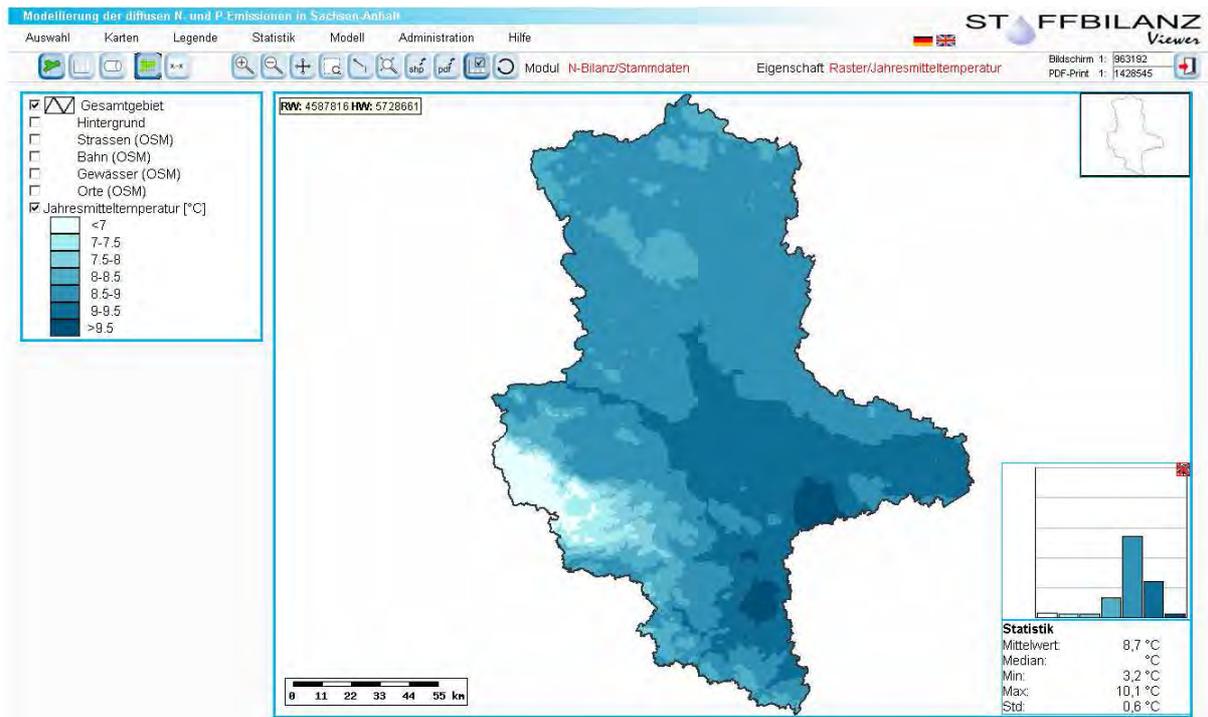


Abb. 8: Raster bezogene Jahresmitteltemperatur (Quelle: Sachsen-Anhalt)

<b>5. C-Faktoren der Vergleichsgebiete</b>	
Digitale Datenbasis:	Anbaustrukturen der Feldfrüchte für die Jahre 2007 bis 2009 Karte der Vergleichsgebiete Sachsen-Anhalt Datenspeicher des UBA-Projektes " Wirkungen der Klimaänderungen auf die Böden – Untersuchungen zu Auswirkungen des Klimawandels auf die Bodenerosion durch Wasser. - In: UBA-Texte 16/2011, Umweltbundesamt"
Übergebener Datenbestand	c-faktor_vlg_lsa_MW2007_2009_fuer_galf.xlsx
Methode:	Schwertmann, U., Vogl, W. und Kainz, M. (1990): Bodenerosion durch Wasser. - In: Eugen Ulmer Verlag Stuttgart, 2. Aufl., 64 S. Wurbs, D. und M. Steininger (2011): Wirkungen der Klimaänderungen auf die Böden – Untersuchungen zu Auswirkungen des Klimawandels auf die Bodenerosion durch Wasser. - In: UBA-Texte 16/2011
Kurzbeschreibung:	Die C-Faktoren wurden für die einzelnen Vergleichsgebiete nach der Methode aus Schwertmann (1990) unter Anwendung des additiven Ansatzes für die Anbaustrukturen der Einzeljahre 2007 bis 2009 berechnet. Anschließend erfolgte eine Mittelwertsbildung. Dieser Wert bildete die Datenbasis für die weiteren Berechnungen. Den Berechnungen zugrunde gelegt wurden 3 Ansätze: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Vegetationsphase konstant und jahreskonkret</li> <li>• Anbaustruktur konstant und jahreskonkret</li> <li>• Bodenbearbeitung konstant und jahreskonkret</li> </ul> Nach einem statistischen Vergleich der 3 Ansätze bezüglich ihres Anteils auf den C-Faktor wurden folgende Zeitebene für die Berechnungen zum Ansatz gebracht: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Vegetationsphase konstant</li> <li>• Anbaustruktur jahreskonkret</li> <li>• Bodenbearbeitung jahreskonkret</li> </ul>

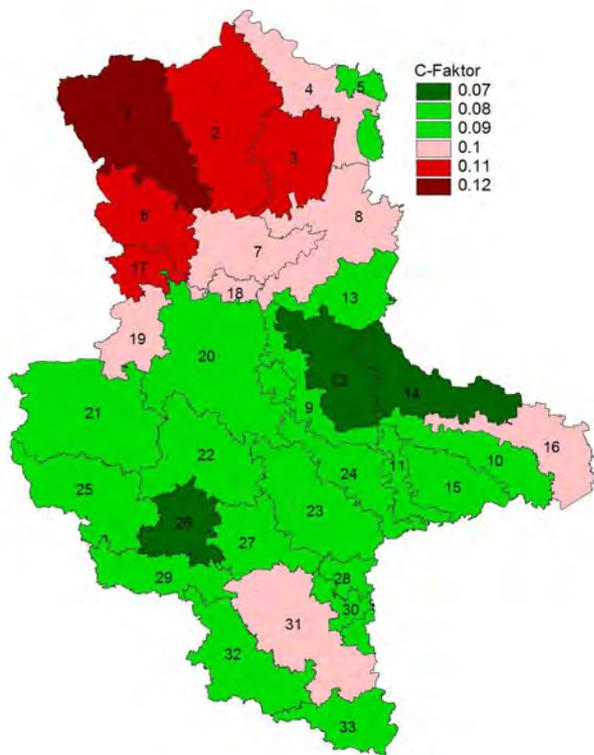


Abb. 9: C-Faktoren im dreijährigen Mittel für die LVG

<b>6. R-Faktor</b>	
Digitale Datenbasis:	Datenbestand R-Faktor (r_faktor_2009_07_16.shp) für die Gefährdungseinstufung Sachsen-Anhalts im Rahmen Cross-Compliance
Übergebener Datenbestand	ESRI-Grid: rfaktor
Methode:	Steininger, M., Wurbs, D. und M. Möller (2005): Ermittlung der potentiellen diffusen Nährstoffeinträge (Emission N u. P) in Oberflächengewässern des Landes Sachsen-Anhalt auf Basis der Wasserkörper gemäß Anhang II EU-WRRL“  <u>Projektteile</u> <i>Erarbeitung von Datengrundlagen und flächendeckende Parametrisierung der Landnutzung und der Bodeneigenschaften zur Berechnung der Bodenerosion (Abschwemmung)</i> & <i>Abschätzung der dränierten Fläche im Land Sachsen-Anhalt als Grundlage zur Berechnung des Dränwasserabflusses.</i>  LHW, unveröffentlicht
Kurzbeschreibung:	Der übergebene Datenstand entspricht dem Datenbestand des LLFG zur Gefährdungsabschätzung Wassererosion nach Cross-Compliance und basiert auf den Arbeiten von Möller und Wurbs (2005).
<b>7. K-Faktor</b>	
Kartografische Grundlage:	Vorläufige Bodenkarte Sachsen-Anhalt (VBK 50)
Digitale Datenbasis:	Datenbestand K-Faktor (r_faktor_vbk2009.shp) für die Gefährdungseinstufung Sachsen-Anhalts im Rahmen Cross-Compliance
Kurzbeschreibung:	Der übergebene Datenstand entspricht dem Datenbestand des LLFG zur Gefährdungsabschätzung Wassererosion nach Cross-Compliance und basiert auf einer Einstufung von Steininger (2009) zur Erstellung eines R*K*S-Grids für Sachsen-Anhalt

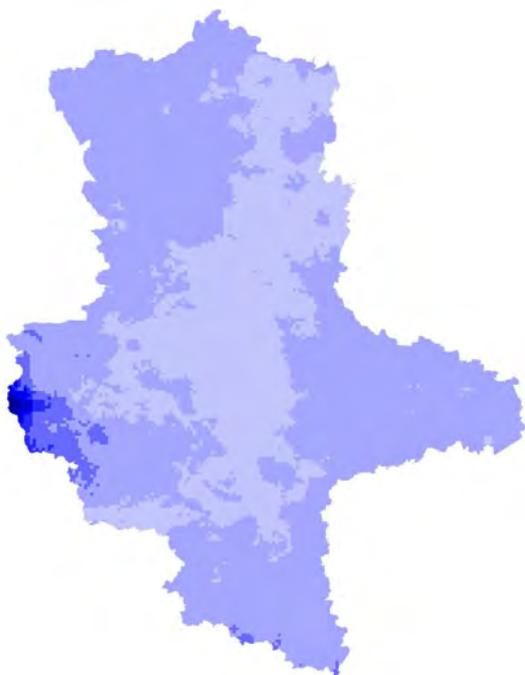


Abb. 10: R-Faktor

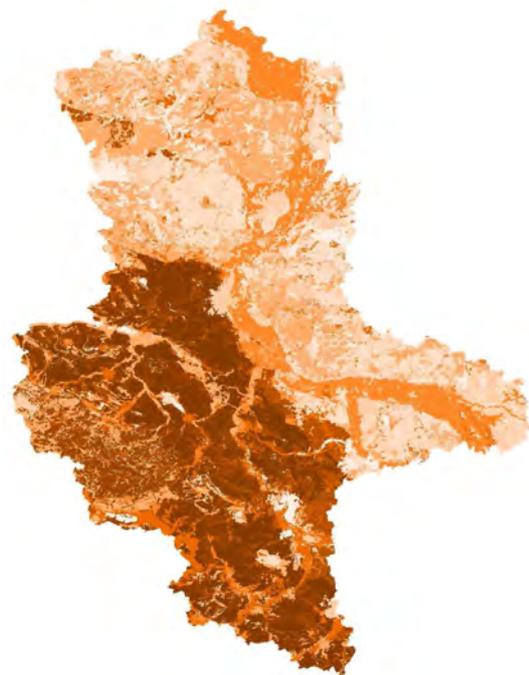


Abb. 11: K-Faktor

<b>8. Atmosphärische N-Deposition</b>	
Digitale Datenbasis:	Gauger Th, Haenel H-D, Rösemann C, Dämmgen U, Bleeker A, Erisman JW, Vermeulen AT, Schaap M, Timmermanns RMA, Builtjes PJH, Duyzer JH (2007): Nationale Umsetzung der UNECE-Luftreinhaltekonvention (Wirkungen). Teil 1: Deposition Loads: Methoden, Modellierung und Kartierung, Trends. Forschungsvorhaben im Auftrag des BMU/UBA, FE-Nr. 204 63 252
Kurzbeschreibung:	Die Daten repräsentieren den Stand 2004, untergliedert in Ackerland und Wiesen/Weiden.

<b>9. Berechnung N-Bilanz</b>																												
Digitale Datenbasis:	Tierbestände – TSK_(Jahr).xls und HIT_(Jahr).xls Klärschlammdaten – Zuordnung_KS_VG.xls Anbaudaten – NN_(Jahr)_LVG.xls Erntedaten – Erträge_vergleichsgebiete.xls																											
Methode:	Berechnung des Stickstoffsaldos auf Ebene der landwirtschaftlichen Vergleichsgebiete für die Jahre 2007, 2008, 2009, dreijähriges Mittel																											
Kurzbeschreibung:	<p>Der Stickstoffsaldo wird nach folgender Formel berechnet:  <math>SN = NI + NSYM + NSG + NOD + NMD + NKS - NE</math></p> <table border="1"> <thead> <tr> <th><b>Symbol</b></th> <th><b>Maßeinheit</b></th> <th><b>Bezeichnung</b></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>SN</td> <td>kg ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup></td> <td>N-Saldo</td> </tr> <tr> <td>NI</td> <td>kg ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup></td> <td>Atmosphärische N-Deposition</td> </tr> <tr> <td>NSYM</td> <td>kg ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup></td> <td>Symbiotische N-Fixierung</td> </tr> <tr> <td>NSG</td> <td>kg ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup></td> <td>N-Zufuhr mit Saatgut</td> </tr> <tr> <td>NOD</td> <td>kg ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup></td> <td>N-Zufuhr mit organischen Düngern der Tierhaltung</td> </tr> <tr> <td>NMD</td> <td>kg ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup></td> <td>Mineral-N-Einsatz</td> </tr> <tr> <td>NKS</td> <td>kg ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup></td> <td>N-Zufuhr aus Klärschlamm</td> </tr> <tr> <td>NE</td> <td>kg ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup></td> <td>N-Entzug</td> </tr> </tbody> </table> <p><i>Atmosphärische N-Deposition:</i> Datenübernahme aus projekt-internen Vorarbeiten  <i>Symbiotische N-Fixierung:</i> Berechnung nach Düngerverordnung 2008 Sachsen Anhalt (Tabelle 33)  <i>N-Zufuhr mit Saatgut:</i> Berechnung Saatguteinsatz mit Praxiswerten; Berechnung des N-Gehaltes im Saatgut über Düngerverordnung 2008 Sachsen Anhalt (Tabelle 26)  <i>N-Zufuhr mit organischen Düngern der Tierhaltung:</i> Berechnung der Tierbestände über HIT-(Rinder) und Tierseuchenkasse (alle anderen Tierarten)-Daten; Berechnung der N-Ausscheidungen nach Düngerverordnung 2008 Sachsen Anhalt (Tabelle 36) und korrigiert um Stall-, Lagerungs- und Ausbringungsverluste (DüV Anlage 2, S.41)  <i>Mineral-N-Einsatz:</i> Berechnung über KTBL-Richtwerte, modifiziert nach Wendland et.al. (1993) siehe „Gutachten zur Beschreibung der Verschmutzung des Grundwassers durch diffuse Quellen aus der Landwirtschaft“ (2004) Tabelle 2.4.6, Abgeglichen mit der Düngemittelabsatzstatistik.  <i>N-Zufuhr aus Klärschlamm:</i> Berechnung der ausgebrachten Mengen über LLFG (Zuordnung_KS_VG.xls); Berechnung der Inhaltsstoffe über statistische Auswertung Sachsen-Anhalt (LLFG)  <i>N-Entzug:</i> Berechnung der Entzüge über Flächenumfang je Kulturart (NN_(Jahr)_LVG.xls) multipliziert mit der Erntemenge (Erträge_vergleichsgebiete.xls); Verrechnung mit Entzügen nach Düngerverordnung 2008 Sachsen Anhalt (Tabelle 26 sowie Tabelle 27 für Grünland)</p>	<b>Symbol</b>	<b>Maßeinheit</b>	<b>Bezeichnung</b>	SN	kg ha <sup>-1</sup> a <sup>-1</sup>	N-Saldo	NI	kg ha <sup>-1</sup> a <sup>-1</sup>	Atmosphärische N-Deposition	NSYM	kg ha <sup>-1</sup> a <sup>-1</sup>	Symbiotische N-Fixierung	NSG	kg ha <sup>-1</sup> a <sup>-1</sup>	N-Zufuhr mit Saatgut	NOD	kg ha <sup>-1</sup> a <sup>-1</sup>	N-Zufuhr mit organischen Düngern der Tierhaltung	NMD	kg ha <sup>-1</sup> a <sup>-1</sup>	Mineral-N-Einsatz	NKS	kg ha <sup>-1</sup> a <sup>-1</sup>	N-Zufuhr aus Klärschlamm	NE	kg ha <sup>-1</sup> a <sup>-1</sup>	N-Entzug
<b>Symbol</b>	<b>Maßeinheit</b>	<b>Bezeichnung</b>																										
SN	kg ha <sup>-1</sup> a <sup>-1</sup>	N-Saldo																										
NI	kg ha <sup>-1</sup> a <sup>-1</sup>	Atmosphärische N-Deposition																										
NSYM	kg ha <sup>-1</sup> a <sup>-1</sup>	Symbiotische N-Fixierung																										
NSG	kg ha <sup>-1</sup> a <sup>-1</sup>	N-Zufuhr mit Saatgut																										
NOD	kg ha <sup>-1</sup> a <sup>-1</sup>	N-Zufuhr mit organischen Düngern der Tierhaltung																										
NMD	kg ha <sup>-1</sup> a <sup>-1</sup>	Mineral-N-Einsatz																										
NKS	kg ha <sup>-1</sup> a <sup>-1</sup>	N-Zufuhr aus Klärschlamm																										
NE	kg ha <sup>-1</sup> a <sup>-1</sup>	N-Entzug																										

<b>Berechnung N-Bilanz AL im LVG in kg Stickstoff je ha</b>		
Kurzbeschreibung	Fläche AL	
	N-Entzug	
	N-Zufuhr min. Dünger	
	N-Zufuhr sym. Fixierung	
	N-Zufuhr Deposition	
	N-Zufuhr Saatgut	
	N-Zufuhr org. Dünger	AL-Fläche abzüglich Leguminosen, Brache
	N-Zufuhr Klärschlamm	AL-Fläche abzüglich Leguminosen, Brache

<b>Berechnung N-Bilanz GL im LVG in kg Stickstoff je ha</b>		
Kurzbeschreibung	Fläche GL	
	N-Entzug	
	N-Zufuhr min. Dünger	
	N-Zufuhr sym. Fixierung	
	N-Zufuhr Deposition	
	N-Zufuhr org. Dünger	GL-Fläche abzüglich Hutungen, Weiden und Almen, anderes Dauergrünland

<b>10. Berechnung P-Bilanz</b>																						
Digitale Datenbasis:	Tierbestände – TSK_(Jahr).xls und HIT_(Jahr).xls Klärschlamm Daten – Zuordnung_KS_VG.xls Anbaudaten – NN_(Jahr)_LVG.xls Erntedaten – Erträge_vergleichsgebiete.xls																					
Methode:	Berechnung des Phosphorsaldos auf Ebene der landwirtschaftlichen Vergleichsgebiete																					
Kurzbeschreibung:	<p>Der Phosphorsaldo wird nach folgender Formel berechnet:</p> $SP = PSG + POD + PMD + PKS - PE$ <table border="1"> <thead> <tr> <th><b>Symbol</b></th> <th><b>Maßeinheit</b></th> <th><b>Bezeichnung</b></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>SP</td> <td>kg ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup></td> <td>P-Saldo</td> </tr> <tr> <td>PSG</td> <td>kg ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup></td> <td>P-Zufuhr mit Saatgut</td> </tr> <tr> <td>POD</td> <td>kg ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup></td> <td>P-Zufuhr mit organischen Düngern der Tierhaltung</td> </tr> <tr> <td>PMD</td> <td>kg ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup></td> <td>Mineral-P-Einsatz</td> </tr> <tr> <td>PKS</td> <td>kg ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup></td> <td>P-Zufuhr aus Klärschlamm</td> </tr> <tr> <td>PE</td> <td>kg ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup></td> <td>P-Entzug</td> </tr> </tbody> </table> <p><i>P-Zufuhr mit Saatgut:</i> Berechnung Saatguteinsatz mit Praxiswerten; Berechnung des P-Gehaltes im Saatgut über Düngeverordnung 2008 Sachsen Anhalt (Tabelle 26)</p> <p><i>P-Zufuhr mit organischen Düngern der Tierhaltung:</i> Berechnung der Tierbestände über HIT-(Rinder) und Tierseuchenkasse (alle anderen Tierarten)-Daten; Berechnung der P-Ausscheidungen nach Düngeverordnung 2008 Sachsen Anhalt (Tabelle 36)</p> <p><i>Mineral-P-Einsatz:</i> Mittelwert der ausgebrachten Gesamt-P-Menge Sachsen-Anhalt</p> <p><i>P-Zufuhr aus Klärschlamm:</i> Berechnung der ausgebrachten Mengen über LLFG (Zuordnung_KS_VG.xls); Berechnung der Inhaltsstoffe über statistische Auswertung Sachsen-Anhalt (LLFG)</p> <p><i>P-Entzug:</i> Berechnung der Entzüge über Flächenumfang je Kulturart (NN_(Jahr)_LVG.xls) multipliziert mit der Erntemenge (Erträge_vergleichsgebiete.xls); Verrechnung mit Entzügen nach Düngeverordnung 2008 Sachsen Anhalt (Tabelle 26 sowie Tabelle 27 für Grünland)</p>	<b>Symbol</b>	<b>Maßeinheit</b>	<b>Bezeichnung</b>	SP	kg ha <sup>-1</sup> a <sup>-1</sup>	P-Saldo	PSG	kg ha <sup>-1</sup> a <sup>-1</sup>	P-Zufuhr mit Saatgut	POD	kg ha <sup>-1</sup> a <sup>-1</sup>	P-Zufuhr mit organischen Düngern der Tierhaltung	PMD	kg ha <sup>-1</sup> a <sup>-1</sup>	Mineral-P-Einsatz	PKS	kg ha <sup>-1</sup> a <sup>-1</sup>	P-Zufuhr aus Klärschlamm	PE	kg ha <sup>-1</sup> a <sup>-1</sup>	P-Entzug
<b>Symbol</b>	<b>Maßeinheit</b>	<b>Bezeichnung</b>																				
SP	kg ha <sup>-1</sup> a <sup>-1</sup>	P-Saldo																				
PSG	kg ha <sup>-1</sup> a <sup>-1</sup>	P-Zufuhr mit Saatgut																				
POD	kg ha <sup>-1</sup> a <sup>-1</sup>	P-Zufuhr mit organischen Düngern der Tierhaltung																				
PMD	kg ha <sup>-1</sup> a <sup>-1</sup>	Mineral-P-Einsatz																				
PKS	kg ha <sup>-1</sup> a <sup>-1</sup>	P-Zufuhr aus Klärschlamm																				
PE	kg ha <sup>-1</sup> a <sup>-1</sup>	P-Entzug																				

Tabelle 1: N-Salden in kg N/ha LN für die Einzeljahre in den LVG

LVG_ID	LVG	Mittelwert	2007	2008	2009
1	Westliche Altmarkplatten und Kloetzer Heide	44,3	54,5	51,3	27,0
2	Mittlere Altmarkplatten	45,1	58,0	50,4	26,8
3	Oestliche Altmark	48,9	58,8	55,0	32,9
4	Noerdliche Elbaue mit Havelniederung	31,7	39,0	38,5	17,5
5	Kyritzer Platte und Schollener Land	13,1	18,0	17,7	3,6
6	Droemling	38,0	43,5	45,0	25,6
7	sandbestimmte Heiden der suedl. Altmark	58,9	68,2	64,6	43,9
8	Elbtalniederung	44,1	48,5	53,3	30,6
9	Mittlere Elbaue	41,7	43,8	54,8	26,4
10	Suedliche Elbaue	33,7	44,3	41,7	15,1
11	Muldeae	38,6	48,8	46,8	20,3
12	Zerbster Land	50,1	62,6	57,4	30,5
13	NoerdlicherVorflaeming	35,7	38,7	47,9	20,5
14	Suedlicher Vorflaeming und Flaeminghochflaeche	40,3	48,3	47,3	25,3
15	Duebener Heide	45,0	53,5	52,7	28,8
16	Suedliches Flaeminghuegelland und Elbe/Elster-Tiefland	51,8	66,7	54,3	34,3
17	ostbraunsch. Flachland	36,4	48,2	45,1	15,9
18	noerdl. Loessueübergang	60,5	62,9	75,1	43,4
19	noerdl. Harzvorland - ostbraunsch. Huegelland	42,1	60,1	52,2	13,9
20	Loessebene der noerdl. Boerde	42,7	60,1	54,3	13,6
21	noerdl. Harzvorland - Harzrandmulde	42,1	58,5	53,1	14,8
22	Loessbedeckte wellige Hochflaechen der suedl. Boerde	48,8	58,0	63,5	24,9
23	Koethener-hallesche Loessebene	41,8	57,2	52,9	15,3
24	Sandloessguertel	49,6	63,5	58,2	27,3
25	Unter- und Mittelharz	17,1	20,2	25,0	6,0
26	Oestl. Harzvorland und Hornburger Sattel	31,3	41,6	40,9	11,4
27	Pollebener/Gerbstaedter Loessplateau und Wettiner Huegelland	42,8	57,1	53,0	18,2
28	Osthallesches Sandloessplateau	46,5	59,5	59,8	20,1
29	Suedharzabdachung mit Helme- und Unstrutniederung	35,7	50,5	43,1	13,5
30	Saale- und Elsteraue	45,0	42,0	61,6	31,4
31	Querfurter Platte und Hohenmoelser Plateau	53,9	74,1	62,6	25,1
32	Loessbeeinflusste Untere Unstrutplatten und Schichtstufenland des Mittleren Saaletales	52,5	65,7	62,5	29,3
33	Suedl. Loesshuegelland	55,1	61,2	69,4	34,7
	<b>gewichtet</b>	<b>43,9</b>	<b>55,7</b>	<b>53,1</b>	<b>22,9</b>

Tabelle 2: N-Saldo kg/ha LN im dreijährigen Mittel in den LVG

LVG_ID	N-Saldo	N-Entzug	Summe	N-Zufuhr	N-Zufuhr	N-Zufuhr	N-Zufuhr	N-Zufuhr	N-Zufuhr
	Gesamt	über Ernte	Zufuhr	min. Dünger	sym. Fixierung	Deposition	Saatgut	org. Dünger	Klärschlamm
1	44	105	150	91	1	18	1	36	2
2	45	108	153	90	2	17	1	39	3
3	49	109	158	96	2	16	1	41	3
4	32	113	145	97	2	16	1	29	1
5	13	106	119	79	7	16	1	17	0
6	38	102	140	78	4	16	1	38	3
7	59	96	155	77	3	16	1	55	2
8	44	106	150	87	3	15	1	41	2
9	42	121	163	105	1	15	2	39	1
10	34	116	150	105	1	16	1	25	1
11	39	105	144	92	3	17	1	27	4
12	50	108	158	102	3	16	2	35	1
13	36	104	140	86	3	16	1	33	0
14	40	93	133	85	3	17	1	24	3
15	45	99	144	81	6	18	1	36	2
16	52	90	142	74	3	16	1	46	1
17	36	128	164	117	1	17	1	24	4
18	60	132	192	121	1	15	2	53	1
19	42	147	189	148	1	16	2	20	3
20	43	148	190	156	2	15	2	14	1
21	42	146	188	148	3	15	2	19	1
22	49	145	194	148	5	15	2	23	1
23	42	138	180	145	2	16	2	11	3
24	50	123	173	121	2	16	2	28	4
25	17	118	135	99	1	17	1	18	0
26	31	127	158	124	2	16	2	14	1
27	43	138	181	146	2	16	2	14	1
28	46	140	186	144	5	18	2	14	3
29	36	131	167	134	1	14	2	15	1
30	45	132	177	118	2	18	2	36	0
31	54	144	198	145	3	17	2	28	3
32	53	140	192	138	3	16	2	29	4
33	55	140	195	135	3	17	2	37	1
	<b>43</b>	<b>121</b>	<b>164</b>	<b>112</b>	<b>3</b>	<b>16</b>	<b>2</b>	<b>29</b>	<b>2</b>
<b>gewichtet:</b>	<b>43,9</b>	<b>124,3</b>	<b>168,3</b>	<b>118,2</b>	<b>2,4</b>	<b>16,1</b>	<b>1,7</b>	<b>27,9</b>	<b>1,9</b>

Tabelle 3: N-Saldo kg/ha AL im dreijährigen Mittel in den LVG

LVG-ID	N-Saldo	N-Entzug	Summe	N-Zufuhr	N-Zufuhr	N-Zufuhr	N-Zufuhr	N-Zufuhr	N-Zufuhr
	AL	über Ernte	Zufuhr	min. Dünger	sym. Fixierung	Deposition	Saatgut	org. Dünger	Klärschlamm
	(kg/ha)	AL	AL	AL	AL	AL	AL	AL	AL
	(kg/ha)	(kg/ha)	(kg/ha)	(kg/ha)	(kg/ha)	(kg/ha)	(kg/ha)	(kg/ha)	(kg/ha)
1	56,8	103,0	159,7	99,1	1,5	18,3	1,6	36,9	2,3
2	59,4	106,3	165,7	99,9	2,5	17,1	1,7	40,2	4,3
3	58,5	109,8	168,3	103,7	2,0	15,8	1,8	41,8	3,3
4	46,9	114,7	161,7	110,9	2,5	16,1	2,0	29,3	0,8
5	35,9	103,0	138,9	89,3	14,3	16,2	1,9	17,2	0,0
6	57,9	107,3	165,2	96,5	6,0	16,7	1,7	39,5	4,8
7	64,8	106,9	171,7	92,8	5,0	16,2	1,8	53,5	2,4
8	57,9	106,6	164,5	97,9	4,4	15,4	1,9	41,2	3,7
9	56,2	127,8	184,0	123,4	1,5	15,4	2,2	40,3	1,2
10	46,8	116,8	163,6	117,8	1,4	16,1	2,0	24,8	1,6
11	49,9	117,1	167,1	111,6	4,9	16,7	2,0	26,5	5,4
12	55,1	111,1	166,1	109,5	3,1	15,6	1,9	35,0	1,1
13	50,5	95,8	146,3	90,5	5,0	15,8	1,6	32,6	0,7
14	49,8	96,3	146,1	96,1	3,9	17,0	1,5	23,5	4,2
15	55,6	97,0	152,6	86,2	7,7	17,9	1,5	36,9	2,4
16	59,9	95,1	155,0	85,4	4,6	16,5	1,8	45,4	1,2
17	48,7	136,2	184,9	135,8	1,0	16,8	1,8	23,8	5,6
18	64,4	139,1	203,5	131,1	0,6	15,0	1,9	53,4	1,4
19	47,6	153,1	200,7	158,5	0,9	15,8	2,5	19,8	3,1
20	45,4	151,5	196,9	162,2	2,1	15,5	2,5	13,9	0,6
21	48,0	150,5	198,5	158,2	2,8	15,1	2,3	19,3	0,9
22	51,6	149,1	200,7	153,9	4,9	15,0	2,4	23,3	1,2
23	45,0	142,7	187,8	152,1	2,3	16,3	2,2	11,6	3,3
24	54,5	128,8	183,3	129,8	2,0	16,0	2,1	28,6	4,7
25	43,3	130,4	173,7	133,1	1,6	17,1	2,2	19,4	0,3
26	43,3	137,0	180,3	143,4	2,8	15,8	2,3	14,4	1,6
27	46,1	145,3	191,4	156,2	2,1	15,9	2,2	14,5	0,6
28	49,5	147,2	196,6	153,2	5,6	18,4	2,3	14,0	3,1
29	44,6	142,6	187,2	152,9	1,3	14,2	2,2	15,6	0,9
30	61,6	144,6	206,2	143,1	2,7	18,2	2,2	39,5	0,5
31	56,1	148,8	204,9	151,3	3,6	17,0	2,2	27,8	3,0
32	58,7	147,0	205,7	149,2	3,0	16,5	2,2	30,2	4,6
33	63,6	147,9	211,5	149,9	3,7	17,1	2,3	37,6	0,9

Tabelle 4: N-Saldo kg/ha GL im dreijährigen Mittel in den LVG

LVG-ID	N-Saldo	N-Entzug	Summe	N-Zufuhr	N-Zufuhr	N-Zufuhr	N-Zufuhr	N-Zufuhr	
		über Ernte	Zufuhr	min. Dünger	sym. Fixierung	Deposition	Saatgut	org. Dünger	
	GL (kg/ha)	GL (kg/ha)	GL (kg/ha)	GL (kg/ha)	GL (kg/ha)	GL (kg/ha)	GL (kg/ha)	GL (kg/ha)	
1	0,6	129,8	130,3	78,3		0,0	17,5	0,0	34,6
2	2,6	122,2	124,8	71,8		0,0	16,3	0,0	36,7
3	4,9	116,9	121,8	68,2		0,0	15,1	0,0	38,5
4	-0,7	116,7	116,0	72,2		0,0	15,3	0,0	28,5
5	-8,1	113,0	104,9	72,3		0,0	15,5	0,0	17,0
6	-4,2	118,9	114,6	64,9		0,0	16,0	0,0	33,7
7	26,4	115,5	141,9	70,2		0,0	15,5	0,0	56,2
8	5,2	124,7	130,0	75,3		0,0	14,8	0,0	39,8
9	-11,3	104,4	93,1	43,2		0,0	14,9	0,0	35,0
10	-3,3	120,7	117,3	77,7		0,0	15,5	0,0	24,2
11	-0,8	105,1	104,2	62,3		0,0	16,1	0,0	25,9
12	3,4	118,2	121,6	72,7		0,0	15,1	0,0	33,7
13	0,9	134,1	135,0	86,4		0,0	15,2	0,0	33,4
14	-24,3	120,5	96,2	56,0		0,0	16,4	0,0	23,9
15	2,9	117,6	120,5	69,1		0,0	17,2	0,0	34,3
16	14,1	123,4	137,5	75,4		0,0	15,9	0,0	46,1
17	-6,9	111,6	104,7	65,9		0,0	16,1	0,0	22,7
18	11,1	109,9	121,0	60,0		0,0	14,4	0,0	46,6
19	-14,8	105,0	90,1	58,7		0,0	15,3	0,0	16,2
20	-35,3	98,2	62,9	37,8		0,0	14,9	0,0	10,3
21	-39,3	101,0	61,7	34,2		0,0	14,5	0,0	13,0
22	-38,1	89,9	51,8	24,2		0,0	14,4	0,0	13,2
23	-38,1	87,8	49,8	27,5		0,0	15,7	0,0	6,5
24	-21,6	103,3	81,7	41,5		0,0	15,4	0,0	24,8
25	-13,5	103,7	90,2	58,2		0,0	16,5	0,0	15,6
26	-34,6	78,5	43,9	19,8		0,0	15,2	0,0	9,0
27	-39,0	69,6	30,5	10,2		0,0	15,3	0,0	5,1
28	-29,5	92,1	62,7	34,8		0,0	17,6	0,0	10,3
29	-40,3	71,6	31,3	10,3		0,0	13,7	0,0	7,3
30	-6,7	96,9	90,2	46,1		0,0	17,4	0,0	26,8
31	-24,8	78,5	53,7	21,0		0,0	16,3	0,0	16,4
32	-19,1	75,8	56,7	22,2		0,0	15,9	0,0	18,6
33	-21,4	98,6	77,2	31,3		0,0	16,5	0,0	29,4

Tabelle 5: P-Salden in kg P/ha LN für die Einzeljahre in den LVG

LVG_ID	LVG	Mittelwert	2007	2008	2009
1	Westliche Altmarkplatten und Kloetzer Heide	-2,0	-1,3	1,0	-5,6
2	Mittlere Altmarkplatten	0,1	2,8	2,4	-4,9
3	Oestliche Altmark	-0,4	0,2	2,8	-4,2
4	Noerdliche Elbaue mit Havelniederung	-5,4	-5,7	-3,1	-7,3
5	Kyritzer Platte und Schollener Land	-6,4	-6,9	-4,3	-7,9
6	Droemling	0,0	0,9	1,6	-2,5
7	sandbestimmte Heiden der suedl. Altmark	7,5	8,8	8,8	4,9
8	Elbtalniederung	0,5	0,6	1,9	-1,1
9	Mittlere Elbaue	0,5	-2,2	5,2	-1,4
10	Suedliche Elbaue	-7,3	-6,6	-3,8	-11,6
11	Muldeaue	-1,8	0,3	1,5	-7,4
12	Zerbster Land	-0,3	2,9	2,0	-5,9
13	NoerdlicherVorflaeming	-2,9	-4,2	1,8	-6,5
14	Suedlicher Vorflaeming und Flaeminghochflaeche	-3,1	-2,1	0,1	-7,3
15	Duebener Heide	0,1	2,1	3,7	-5,4
16	Suedliches Flaeminghuegelland und Elbe/Elster-Tiefland	2,9	6,6	4,6	-2,4
17	ostbraunsch. Flachland	-7,6	-6,1	-4,5	-12,3
18	noerdl. Loessueübergang	-0,3	-5,6	5,1	-0,4
19	noerdl. Harzvorland - ostbraunsch. Huegelland	-13,4	-9,1	-12,9	-18,2
20	Loessebene der noerdl. Boerde	-16,1	-11,7	-15,6	-21,0
21	noerdl. Harzvorland - Harzrandmulde	-13,7	-9,2	-13,7	-18,3
22	Loessbedeckte wellige Hochflaechen der suedl. Boerde	-12,3	-11,3	-10,4	-15,3
23	Koethener-hallesche Loessebene	-13,9	-10,0	-12,9	-18,9
24	Sandloessguertel	-3,8	0,2	-2,4	-9,2
25	Unter- und Mittelharz	-8,1	-8,9	-6,4	-9,0
26	Oestl. Harzvorland und Hornburger Sattel	-11,9	-11,0	-10,1	-14,5
27	Pollebener/Gerbstaedter Loessplateau und Wettiner Huegelland	-14,7	-12,2	-13,4	-18,4
28	Osthallesches Sandloessplateau	-13,8	-9,6	-13,4	-18,3
29	Suedharzabdachung mit Helme- und Unstrutniederung	-12,9	-10,2	-11,7	-16,7
30	Saale- und Elsteraue	-5,8	-12,6	0,4	-5,2
31	Querfurter Platte und Hohenmoelser Plateau	-10,9	-6,0	-11,0	-15,6
32	Loessbeeinflusste Untere Unstrutplatten und Schichtstufenland des Mittleren Saaletales	-7,6	-4,9	-7,2	-10,8
33	Suedl. Loesshuegelland	-7,0	-9,6	-4,0	-7,5
	<b>gewichtet:</b>	<b>-6,9</b>	<b>-4,8</b>	<b>-5,1</b>	<b>-10,7</b>

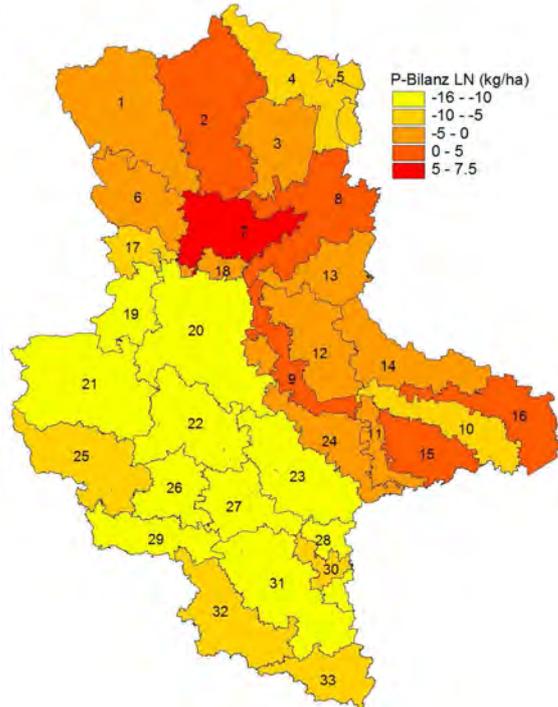
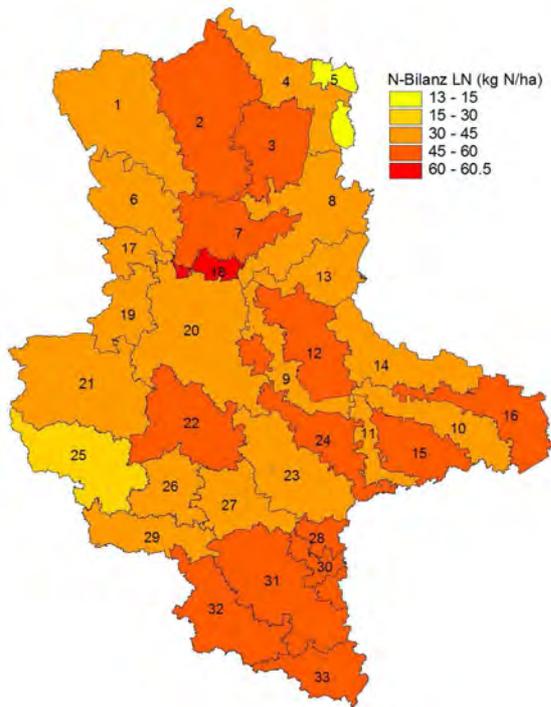


Abb. 12: N-Bilanz LN

P-Bilanz LN

im dreijährigen Mittel je LVG (Quelle: Sachsen-Anhalt)

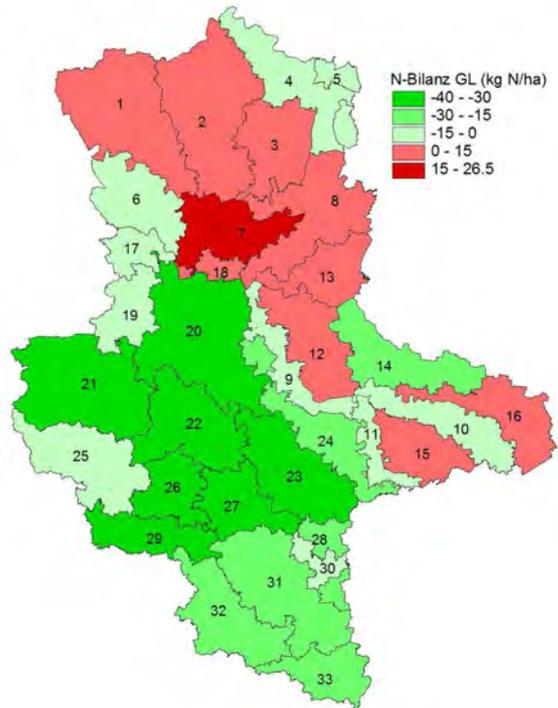
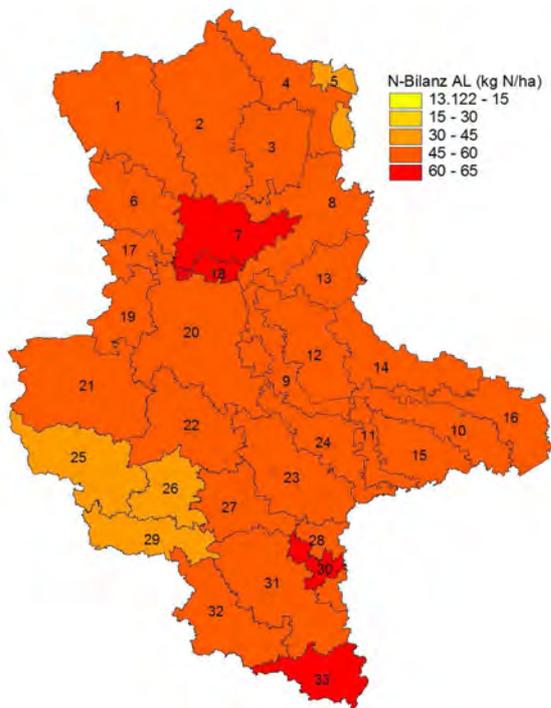


Abb. 13: N-Bilanz AL

N-Bilanz GL

im dreijährigen Mittel je LVG (Quelle: Sachsen-Anhalt)

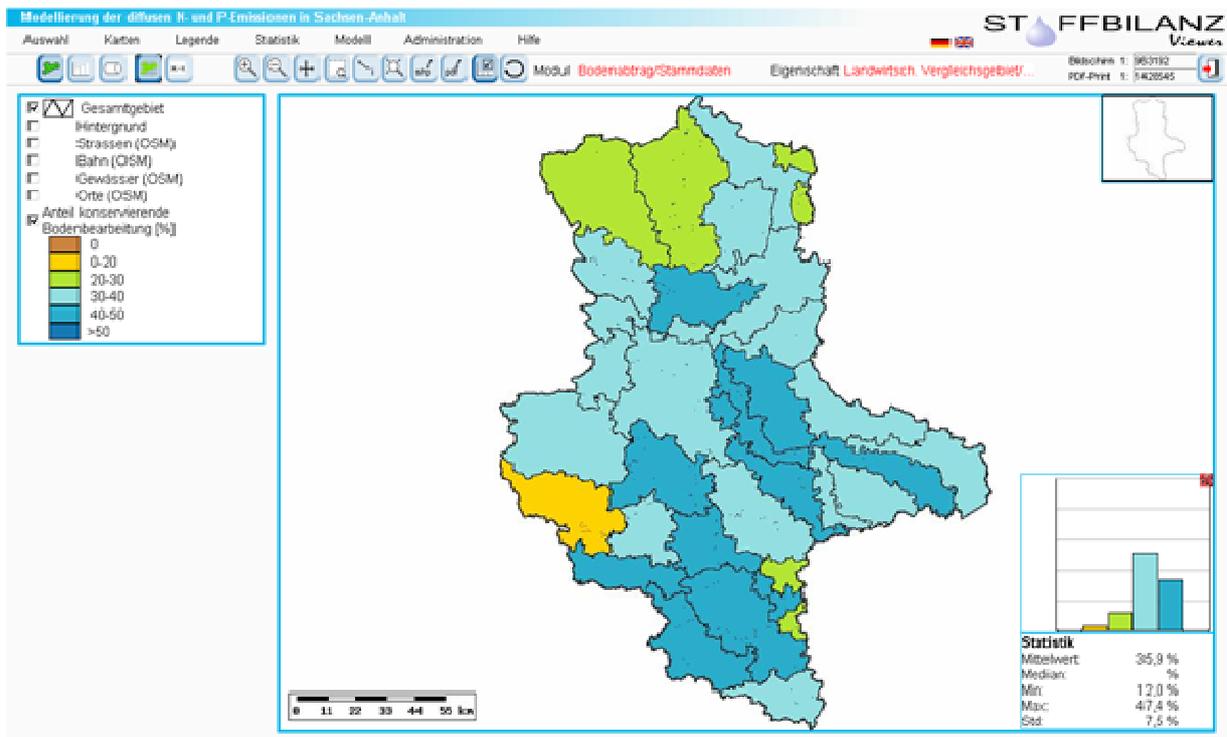


Abb. 14: Anteile konservierend bearbeiteter Ackerflächen je LVG (Quelle: Sachsen-Anhalt)

Tabelle 6: N-Deposition für die Nutzung Acker, Grünland und Wald (Stand 2004)

LVG	LVG-ID	Acker	Grünland	Laubwald	Mischwald	Nadelwald
Atmosphärische Gesamtdeposition [kg N ha <sup>-1</sup> a <sup>-1</sup> ]						
Westliche Altmarkplatten und Klötzer Heide	1	18,3	17,5	37,7	37,7	37,8
Mittlere Altmarkplatten	2	17,1	16,3	36,2	36,3	36,3
Östliche Altmark	3	15,8	15,1	33,7	33,7	33,8
Nördliche Elbaue mit Havelniederung	4	16,1	15,3	34,4	34,4	34,5
Kyritzer Platte und Schollener Land	5	16,2	15,5	35	35	34,9
Drömling	6	16,7	16	34,6	34,8	35
sandbestimmte Heiden der südl. Altmark	7	16,2	15,5	35,4	35,4	35,5
Elbtalniederung	8	15,4	14,8	33	33	33,1
Mittlere Elbaue	9	15,4	14,9	32,7	33	33,3
Südliche Elbaue	10	16,1	15,5	33	33,1	33,3
Muldeaue	11	16,7	16,1	35,4	35,5	35,7
Zerbster Land	12	15,6	15,1	32,3	32,6	32,8
Nördlicher Vorfläming	13	15,8	15,2	33,2	33,3	33,5
Südlicher Vorfläming und Fläminghochfläche	14	17	16,4	35	35	35,1
Dübener Heide	15	17,9	17,2	37,8	37,8	37,9
Südliches Fläminghügelland und Elbe/Elster-Tiefend	16	16,5	15,9	34,2	34,3	34,4
ostbraunsch. Flachland	17	16,8	16,1	35,8	35,9	36
nördl. Loessübergang	18	15	14,4	32,4	32,7	32,9
nördl. Harzvorland - ostbraunsch. Hügelland	19	15,8	15,3	33,7	33,9	34,2
Lössebene der nördl. Börde	20	15,5	14,9	33,1	33,4	33,7
nördl. Harzvorland - Harzrandmulde	21	15,1	14,5	32,8	33	33,1
Lössbedeckte wellige Hochflächen der südl. Börde	22	15	14,4	32,2	32,5	32,7
Köthener-hallesche Lössebene	23	16,3	15,7	33,9	34,3	34,7
Sandlössgürtel	24	16	15,4	33,7	33,9	34,2
Unter- und Mittelharz	25	17,1	16,5	38,1	37,9	37,8
Östl. Harzvorland und Hornburger Sattel	26	15,8	15,2	35,1	35,1	35
Pollebener/Gerbstädter Lössplateau und Wettiner Hügelland	27	15,9	15,3	33,5	33,8	34,1
Osthallesches Sandlössplateau	28	18,4	17,6	38	38,4	38,9
Südharzabdachung mit Helme- und Unstrutniederung	29	14,2	13,7	31,7	31,9	32,1
Saale- und Elsteraue	30	18,2	17,4	38,2	38,6	39,1
Querfurter Platte und Hohenmölser Plateau	31	17	16,3	36	36,4	36,8
Lössbeeinflusste Untere Unstrutplatten und	32	16,5	15,9	35,6	35,7	35,9
Südl. Lösshügelland	33	17,1	16,5	35,8	36,1	36,3

### 3. N-Umsatz für Landwirtschaftsflächen

Die Stickstoffbilanz im Boden ist abhängig von anthropogen bedingten Nutzungseinflüssen sowie der Ausprägung der naturräumlichen Faktoren und ergibt sich im einfachsten Sinne als das Resultat von Stickstoffeinträgen und -verlusten. Im Modell STOFFBILANZ werden die Prozesse der Mobilisierung und Immobilisierung für die Hauptnutzungsform Acker in vereinfachter Form mit berücksichtigt. Die Vorteile dieser „erweiterten“ Bilanz liegen insbesondere in der Tatsache, dass Phänomene der An- oder Abreicherung von Stickstoff im Humus zumindest überschlägig abgebildet werden können. Zusätzlich können Effekte von Bewirtschaftungsmaßnahmen (z.B. erhöhte N-Immobilisierung durch Zwischenfruchtanbau, Veränderungen im Viehbesatz u.s.w.) umfassender berücksichtigt werden

Nähere Erläuterungen zur Vorgehensweise finden sich in Gebel et al. (2010a, b). Abweichend von den hier getroffenen Beschreibungen wird im vorliegenden Projekt zunächst nur die Mobilisierung und die Immobilisierung für die Ackerfläche berechnet:

$$\text{Mobilisierung} = f_{mob} \cdot F_{org} M_{root} M_{ic} M_{soil} \text{ kg N ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$$

$$\text{Immobilisierung} = f_{org} \cdot F_{org} + I_{root} + I_{ic} \text{ kg N ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$$

mit  $F_{org}$  = Wirtschaftsdünger,  $M_{root}$  = Nachlieferung aus Ernteresten der Vorrucht im Berechnungsjahr,  $I_{ic}$  = Immobilisierung Zwischenfrucht,  $M_{ic}$  = Nachlieferung aus Zwischenfrucht des Vorjahres,  $M_{soil}$  = langjährige Nachlieferung aus der organischen Bodensubstanz,  $I_{root}$  = Immobilisierung Nebenprodukt + Wurzel,  $f_{mob}$  = Faktor zur Anrechnung der Mobilisierung aus  $F_{org}$  im Berechnungsjahr,  $f_{org}$  = Faktor zur Anrechnung des immobilen Anteils an  $F_{org}$ .

#### Nachlieferung aus Wirtschaftsdüngern

Die Nachlieferung aus dem organischen Anteil des Wirtschaftsdüngers wird über den Faktor  $f_{mob}$  geregelt. Dieser wird je nach Art des Düngeranfalls (Gülle / Stallmist) vergeben. Für Sachsen-Anhalt wird der Faktor in Absprache mit dem Auftraggeber einheitlich mit 0,145 festgelegt, was einem Verhältnis des Gülle- / Stallmistanfalls von 80 / 20 entspricht.

#### Nachlieferung aus dem Zwischenfruchtanbau des Vorjahres

Effekte des Anbaus von Zwischenfrüchten und Untersaaten können durch zusätzliche Berücksichtigung von Immobilisierungs- und Nachlieferungskoeffizienten berücksichtigt werden. Im Modell wird davon ausgegangen, dass die im Frühjahr des Berechnungsjahres freigesetzte N-Menge  $M_{ic}$  der N-Nachlieferung des Zwischenfruchtanbaus im Vorjahr 75% der im Berechnungsjahr zusätzlich erzielten Immobilisierungsleistung im Herbst beträgt (vgl. Schliephake & Albert 2003).

#### Nachlieferung aus Ernte- und Wurzelrückständen

Die für das Berechnungsjahr bereits wieder angenommene fruchtartenspezifische Mobilisierung aus Ernte- und Wurzelrückständen  $M_{root}$  erfolgt nach SLfL (2007) bzw. Arman et al. (2002).

#### N-Nachlieferung aus der organischen Bodenmatrix

Die N-Nachlieferung  $M_{soil}$  aus der organischen Bodenmatrix beschreibt die langjährige Rückführung von Stickstoff aus dem organischen N-Pool. Freisetzungen, die sich aus der Bewirtschaftung des Berechnungsjahres selbst ergeben, sind darin nicht enthalten. Sie werden gesondert bilanziert (siehe  $M_{root}$ ).

Im Rahmen der Weiterentwicklung des Modells STOFFBILANZ\_BW in Zusammenarbeit mit den baden-württembergischen Landesbehörden erfolgte eine Modifizierung der Methode zur Ermittlung der N-Nachlieferung nach Arman et al. (2002). Analog der Vorgehensweise von Mary & Guéris (1994) bzw. Meynard et al. (1996), berechnet sich die Nachlieferung als

Funktion von Humusgehalt, C/N-Verhältnis, Tongehalt, Kalkgehalt, Skelettgehalt, Jahresmitteltemperatur sowie der Fruchtartengruppenspezifischen Bewirtschaftungspraxis. Im Ergebnis wird eine Differenzierung erreicht, die sowohl die bodenartspezifische als auch die bodentypspezifische Variabilität des Nachlieferungspotenzials besser abbildet und zu einer Erhöhung der Plausibilität des Berechnungsansatzes führt.

Für die Ableitung der Nachlieferung aus der organischen Bodenmatrix  $M_{\text{soil}}$  wird zunächst der organische N-Gehalt im Oberboden  $N_{\text{org}}$  unter Berücksichtigung des Humusgehaltes im Oberboden  $c_{\text{humus}}$  [%], der Trockenrohdichte (SBD) und dem C/N-Verhältnis berechnet (Mary & Guérif 1994, Meynard et al. 1996):

$$N_{\text{org}} = \frac{c_{\text{humus}} \cdot \text{SBD} \cdot 2 \cdot 10000}{1,72 \cdot \text{C/N}} [\text{kg N ha}^{-1} \text{ a}^{-1}]$$

Hieraus leitet sich die Nachlieferung des Bodens  $M_{\text{soil}}$  unter Berücksichtigung von  $N_{\text{org}}$ , Mineralisationskoeffizient  $K_2$  und Skelettgehalt im Oberboden  $c_{\text{sk}}$  [%] wie folgt ab:

$$M_{\text{soil}} = N_{\text{org}} \cdot K_2 \cdot 1,3 \cdot \left(1 - \frac{c_{\text{sk}}}{100}\right) [\text{kg N ha}^{-1} \text{ a}^{-1}]$$

Der Mineralisationskoeffizient  $K_2$  berechnet sich aus Tongehalt  $c_{\text{clay}}$  und Kalkgehalt  $c_{\text{lime}}$  im Oberboden [%] sowie der Jahresmitteltemperatur  $T_{\text{avg}}$  [°C] und dem Faktor  $f_t$ . Zusätzlich wird die Intensität organischer Düngung und Häufigkeit der Abfuhr des Nebenproduktes zur Charakterisierung des Bewirtschaftungssystems für jede Fruchtartengruppe über den Faktor  $f_s$  festgelegt (Tabelle 7, nach Arman et al. 2002, Mary & Guérif 1994, Meynard et al. 1996):

$$K_2 = \frac{1200 \cdot f_s \cdot f_t}{c_{\text{clay}} \cdot 10200 \cdot 0,3 \cdot c_{\text{lime}} \cdot 10200}$$

$$f_t = 0,15 \cdot T_{\text{avg}} - 0,5$$

Tabelle 7: Festlegung von  $f_s$  zur Berücksichtigung des Bewirtschaftungssystems

Erntereste werden	Häufigkeit organischer Düngung			
	> alle 10 Jahre	alle 5-10 Jahre	alle 3-5 Jahre	< 3 Jahre
	Faktor $f_s$			
... immer abgefahren	0,8	0,9	1	1,1
... manchmal abgefahren	0,9	1	1,1	1,2
... immer eingearbeitet	1	1,1	1,2	1,3

Den Fruchtartengruppen wurden einheitlich für Sachsen-Anhalt folgende Werte zugeordnet:

- Winterweizen, Winterroggen: 0,9
- Wintergerste, Sommergerste, Ölfrüchte (ohne Raps), Sonnenblumen: 1,0
- Körnermais, Silomais, Zuckerrüben, Hackfrüchte, Kartoffeln, Feldgras: 1,2
- Raps, Futterleguminosen, Körnerleguminosen: 1,1

Die vom Auftraggeber bereitgestellten Humusgehalte und C/N-Verhältnisse im Oberboden beruhen auf Auswertungen der MMK und stellen somit Mischbilanzen aus Acker und Grünlandflächen dar. Bei überwiegender Ackernutzung werden im Wesentlichen auch die für die Ackerflächen relevanten Werte berücksichtigt, bei höheren Grünlandanteilen kommt es aber stellenweise zu hohen Überschätzungen der Humusgehalte bzw. Unterschätzungen der C/N-Verhältnisse, wenn Werte für Anmoore und Moore (Grünland) auf Ackerflächen berücksichtigt werden. In Abstimmung mit dem Auftraggeber wurden die unten erläuterten regionalspezifischen Anpassungen vorgenommen:

- LVG 1 und 2: Humusgehalte  $> 1,72\%$  werden auf 1,72 gesetzt, das C/N-Verhältnis beträgt dann 9,3 (analog zu LVG 3)
- LVG 5: Humusgehalte  $> 3,5\%$  werden auf 3,5 gesetzt, das C/N-Verhältnis beträgt dann 11,4 (analog zu LVG 7)
- LVG 6: Humusgehalte  $> 3\%$  werden auf 3 gesetzt, das C/N-Verhältnis beträgt dann 12,3 (analog zu LVG 18)
- LVG 13: Humusgehalte  $> 2,7\%$  werden auf 2,7 gesetzt, das C/N-Verhältnis beträgt dann 9,8 (analog zu LVG 12)
- Nachlieferungswerte  $> 150 \text{ kg kg N ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$  werden auf 150 gesetzt, um die oben beschriebenen „Ausreißer“ auch in den übrigen Gebieten zu bereinigen.
- Nachlieferungswerte  $< 40 \text{ kg kg N ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$  werden auf 40 gesetzt, um die angenommene Überschätzung des Einflusses der Temperaturungunst in höheren Lagen auszugleichen.
- In LVG mit einem Wirtschaftsdüngeraufkommen  $> 50 \text{ kg kg N ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$  wird Faktor  $f_s$  für jede Fruchtartengruppe um 0,1 erhöht.
- In LVG mit einem Wirtschaftsdüngeraufkommen  $< 15 \text{ kg kg N ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$  wird Faktor  $f_s$  für jede Fruchtartengruppe um 0,1 erniedrigt.
- Auf Rasterzellen mit einem Gesamtabfluss  $< 50 \text{ mm a}^{-1}$  wird die Nachlieferung um 10% vermindert (außer Bodentypen A#, G#, ##-GG), um die durch Wasserstress zu erwartende Verminderung der Mineralisation zu berücksichtigen.

### **Immobilisierung aus dem organischen Anteil des Wirtschaftsdüngers**

Der im Berechnungsjahr ausgebrachte organische Anteil des Wirtschaftsdüngers, der in den Humuspool eingespeist wird, errechnet sich über den Faktor  $f_{org}$ , der für das Untersuchungsgebiet in Absprache mit dem Auftraggeber einheitlich mit 0,435 festgelegt wird.

### **Immobilisierung in Ernterückständen und Wurzeln**

Programmintern wird für Ackerflächen die Immobilisierung im Nebenprodukt  $I_{root}$  (Ernte- und Wurzelnrückstände) anhand der fruchtartenspezifischen Erträge des Hauptprodukts und dem Entzugsfaktor des Nebenprodukts abgeleitet (SifL 2007, LAP 2004). Die Anteile des Nebenprodukts ( $E_{root}$ ), die abgefahren werden, werden aus diesem Pool nicht herausgerechnet, da von einer Rückführung auf die Flächen als Stallmist ausgegangen wird.

### **Immobilisierung in Zwischenfrüchten/Untersaaten**

Effekte des Anbaus von Zwischenfrüchten und Untersaaten können durch zusätzliche Berücksichtigung von Immobilisierungs- und Nachlieferungskoeffizienten berücksichtigt

werden. Grundlage der Berechnung bildet die Annahme einer fruchtartenspezifischen zusätzlichen Immobilisierung von N ( $I_{ic}$ ) in der Zwischenfrucht/Untersaat im Herbst, die um den Betrag von  $20 \text{ kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$  (=25% des N) höher liegt als die im Frühjahr des Berechnungsjahres freigesetzte N-Menge aus der N-Nachlieferung des Zwischenfruchtanbaus im Vorjahr. In der Parametrisierung wird im Modell von einer zusätzlichen N-Bindung von  $80 \text{ kg ha}^{-1}$  und einer zusätzlichen N-Freisetzung für die Folgefrucht von  $60 \text{ kg ha}^{-1}$  (siehe Kap. 6.1.1.2, vgl. Schliephake & Albert 2003) ausgegangen.

### Korrektur des übergebenen N-Saldos

Der vom Auftraggeber übergebene N-Saldo beinhaltet eine Input – Outputbetrachtung einschließlich der atmosphärischen Deposition und kann somit grundsätzlich durch die Komponenten der Mobilisierung und Immobilisierung ergänzt werden. Da im Saldo der Wirtschaftsdünger nach Lagerungs- und Ausbringungsverlusten zu 100% enthalten ist, muss der Saldo zuvor um den nicht im Berechnungsjahr verfügbaren N-Anteil korrigiert werden:

$$\text{Saldo}_{\text{korrr}} = \text{Saldo} - F_{\text{org}} * f_{\text{org}} [\text{kg N ha}^{-1} \text{ a}^{-1}]$$

### Aufstellung der N-Bilanz aus $\text{Saldo}_{\text{korrr}}$ , Mobilisierung und Immobilisierung

Die bewirtschaftungsbedingte N-Bilanz ergibt sich für Ackerflächen wie folgt:

$$\text{N - Bilanz} = \text{Saldo}_{\text{korrr}} + M_{\text{soil}} + M_{\text{root}} - I_{\text{root}} - E_{\text{harv}} [\text{kg N ha}^{-1} \text{ a}^{-1}]$$

Eine zusätzliche Immobilisierung bzw. Mobilisierung von N durch Zwischenfruchtanbau wird dabei nicht gesondert betrachtet.

Für Grünlandflächen wird der übergebene Saldo unkorrigiert übernommen. Für Obstbauflächen und sonstige Dauerkulturen wurde pauschal ein Saldo von  $10 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$  eingesetzt. Nähere Angaben fehlen hier zur Zeit noch.

Die Denitrifikation in der Bodenzone wurde grundsätzlich nicht berechnet.

#### 4. N-Bilanzen für Waldflächen

Die Berechnung der N-Bilanzen auf Waldflächen erfolgt anhand der in Gebel et al. (2010a) detailliert beschriebenen Methodik. Als Waldflächen werden hierbei die Hauptnutzungsformen Wald, Gehölz und Heide aufgefasst. Eine in der Methode eigentlich vorgesehene Trennung in Laub- und Nadelwaldflächen ist anhand der übergebenen Nutzungsdaten nicht möglich. Das Verhältnis Nadel- zu Laubwald liegt in Sachsen-Anhalt ungefähr bei 68 / 32<sup>1</sup>. Dieses Verhältnis wurde für die Berechnung einheitlich zu Grunde gelegt. Angaben zur atmosphärischen Deposition wurden Tabelle 6 (Kategorie „Mischwald“) entnommen.

#### N-Nettoaufnahmerate

Für Waldflächen wird anhand von Verwitterungsklasse und Ertragsklasse eine N-Nettoaufnahmerate ermittelt. Die entsprechenden Ableitungen folgen dem Critical-Load-Konzept (Nagel & Gregor 1999) und wurden für die Verwendung im Modell STOFFBILANZ dementsprechend angepasst (Kaiser 2003). Die Verwitterungsklasse wird unter Berücksichtigung der Bodenartengruppe sowie der vom Bodentyp abgeleiteten Ausgangsgesteinsklasse bestimmt (Tabelle 8).

Tabelle 8: Bestimmung der Verwitterungsklasse für Laub- und Nadelwald

Bodentyp	Bodenartengruppe							
	Hn, Hh	ss, ls, us, su	sl, lu	ll	tl	tu	ut	lt
	Verwitterungsklasse							
HN, HH	0	0	0	0	0	0	0	0
F#, O#, RN, RQ, P#, B#, PP-BB	0	1	2	3	3	3	4	4
D#, L#, SS-##, GG-##, A#, S#, G#, T#, Y#	0	2	3	4	4	4	4	4
RR, RZ, C#	0	4	4	4	4	4	4	4

Aus der Verwitterungsklasse kann unter Einbeziehung der mittleren Jahrestemperatur sowie der mittleren Sickerwasserrate die Ertragsklasse abgeleitet werden (modifiziert nach Nagel & Gregor 1999, siehe Tabelle 9).

Tabelle 9: Ableitung der Ertragsklasse für Laub- und Nadelwald

T [°C]	Verwitterungsklasse 3 + 4						Verwitterungsklasse 1 + 2						Verwitterungsklasse 0					
	≥9	8	7	6	5	<5	≥9	8	7	6	5	<5	≥9	8	7	6	5	<5
SW [mm/ a <sup>-1</sup> ]	Ertragsklasse																	
≥1000	Ia	Ia	Ia	I	II	IV	I	I	I	II	III	IV	I	I	I	II	IV	V
<1000-800	Ia	Ia	Ia	I	II	IV	I	I	I	II	III	IV	I	I	I	II	IV	V
<800-600	Ia	Ia	I	I	II	IV	I	I	I	II	III	IV	I	I	II	II	IV	V
<600-400	Ia	I	I	I	II	IV	I	I	II	II	III	IV	II	II	II	III	IV	V
<400-200	I	II	II	II	III	IV	II	II	III	III	III	IV	II	III	IV	IV	IV	V
<200	III	III	III	II	III	IV	III	III	IV	IV	IV	IV	III	IV	V	V	V	V

Die N-Nettoaufnahmerate  $I_{\text{uptake}}$  ergibt sich aus Tabelle 10 (nach Nagel & Gregor 1999).

<sup>1</sup><http://www.sachsen-anhalt.de/index.php?id=pghwed71yyas>

Tabelle 10: Ableitung der N-Nettoaufnahmerate aus der Ertragsklasse

Ertragsklasse	N-Nettoaufnahmerate [kg N ha <sup>-1</sup> a <sup>-1</sup> ]	
	Laubwald	Nadelwald
Ia	15	10
I	13,5	8,5
II	11,5	6,5
III	8	5
IV	7	4
V	3,5	2

### N-Immobilisierungsrate

Die N-Immobilisierungsrate  $I_{\text{humus}}$  wird anhand Tabelle 11 in Abhängigkeit von der Jahresmitteltemperatur ermittelt (nach Nagel & Gregor 1999).

Tabelle 11: Ableitung der N-Immobilisierungsrate

Jahresmitteltemperatur [°C]	≤4	5	6	7	8	≥9
N-Immobilisierungsrate [kg N ha <sup>-1</sup> a <sup>-1</sup> ]	5	4	3	2	1,5	1

### Aufstellung der N-Bilanz für Waldflächen, Gehölz und Heide

Die N-Bilanz (=Zwischenbilanz) ergibt sich wie folgt:

$$N - \text{Bilanz} = \text{Deposition} - \text{Nettoaufnahmerate} - \text{Immobilisierungsrate} [\text{kg N ha}^{-1} \text{ a}^{-1}]$$

Die Denitrifikation in der Bodenzone wurde grundsätzlich nicht berechnet.

## 5. Ergebnisse Ist-Zustand N-Bilanzierung

In den nachfolgend dokumentierten N-Bilanzen auf LVG-Ebene für **Ackerflächen** ist die rasterbezogen berechnete N-Nachlieferung  $M_{root}$  (Abb15) mit enthalten. Hierbei ist zu beachten, dass die Nachlieferung auch auf Daten aufbaut, die nur LVG bezogen vorliegen. Somit liegt keine durchgängige Differenzierung auf Rasterebene vor, was bei der Interpretation der Ergebnisse unbedingt zu beachten ist.

Für Grünland ist derzeit eine Berücksichtigung der N-Nachlieferung nicht möglich.

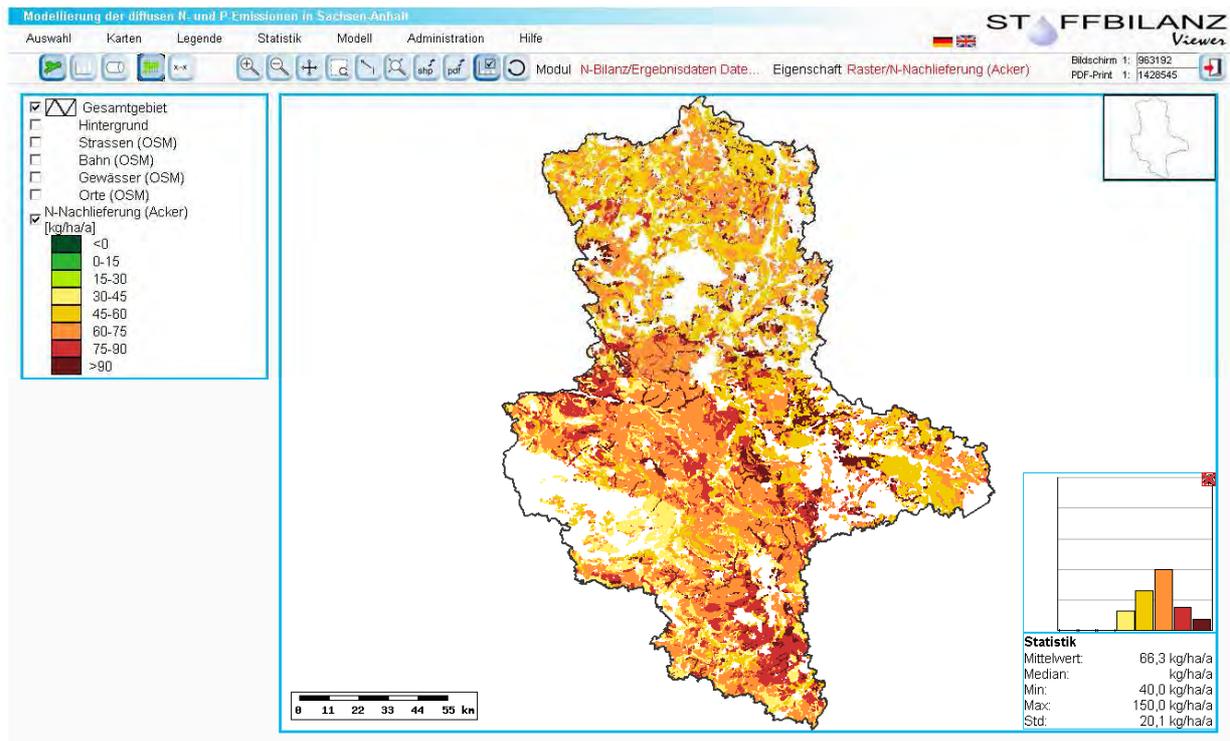


Abb. 15: Raster bezogene N-Nachlieferung aus der organischen Bodensubstanz für Ackerflächen

In Verbindung der N-Nachlieferung  $M_{soil}$  mit dem **N-Saldo<sub>korr</sub>**, der Mobilisierung aus Ernteresten  $I_{root}$ , dem Ernteentzug  $E_{harv}$  und der Immobilisierung in Ernterest und Wurzel  $I_{root}$  wird die N-Bilanz (Abb.16) abgeleitet. Da Denitrifikationsverluste im Oberboden noch nicht eingerechnet wurden, wird diese im Folgenden auch als sog. Zwischenbilanz bezeichnet.

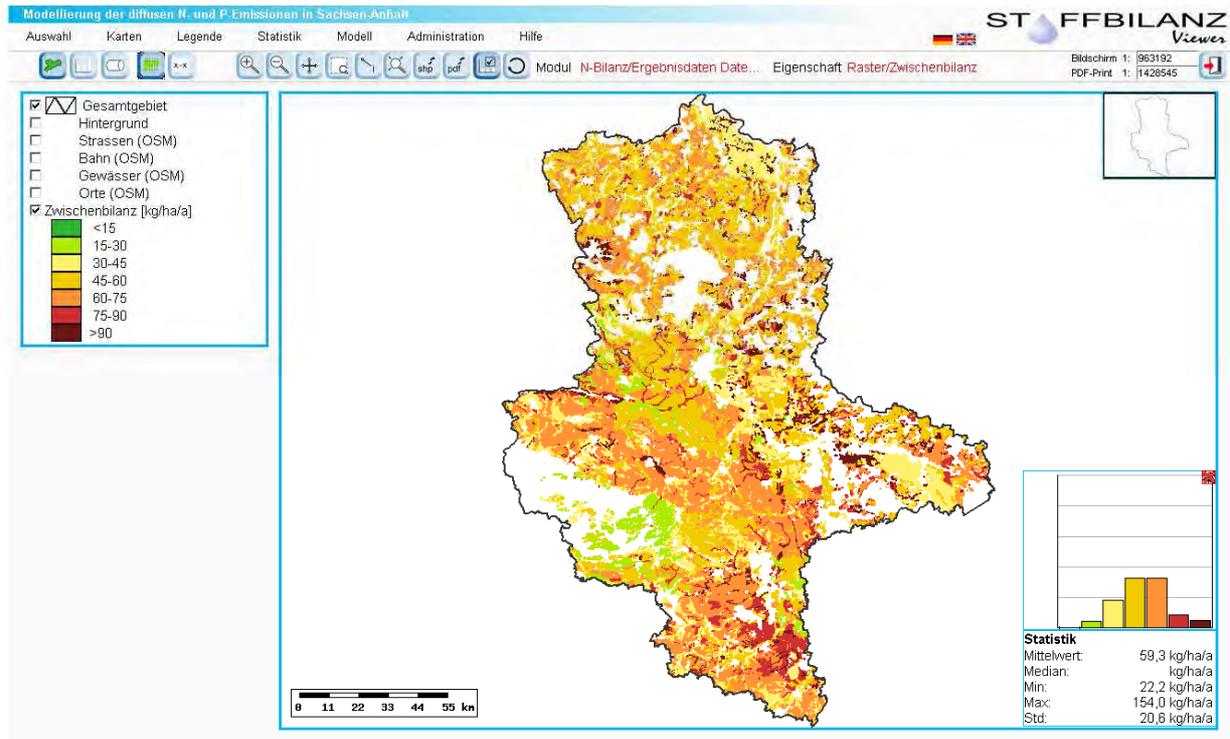


Abb. 16: Errechnete rasterbezogene N-Bilanz (Zwischenbilanz im 3jährigen Mittel) für Ackerflächen (ohne Denitrifikation)

Tabelle 12 stellt die Ergebnisse je LVG (3jähriges Mittel) für Ackerflächen im Vergleich gegenüber.

LVG ID	Fläche (ha)	Mroot	Iroot	Msoil	Saldo*	Saldo <sub>korr</sub>	N-Bilanz (Zw.bil.)	Mobil.	Immob.	Mobil.-Immob.	Änd. Bodenvorrat Repro
1	48519	2,8	44,3	59	56,8	39,69	57,2	61,77	61,33	0,44	-5,2
2	53256	2	44	58,4	59,4	40,08	56,55	60,46	63,35	-2,9	-7
3	34952	0,9	44,5	63,1	58,5	38,95	58,5	64,06	64,09	-0,03	-3,7
4	28067	0,2	43,5	65	46,9	33,78	55,57	65,24	56,58	8,66	-3,1
5	3757	4,7	36	64,5	35,9	28,43	61,55	69,12	43,49	25,63	-0,5
6	23458	2,9	41,7	71,3	57,9	38,61	71,12	74,21	60,97	13,24	-6,1
7	12814	1,5	40,7	67	64,8	40,49	68,39	68,59	65,01	3,58	-7,4
8	31904	1,4	43,6	64,1	57,9	38,37	60,23	65,5	63,18	2,32	-0,9
9	15377	1,9	54	69,8	56,2	38,09	55,82	71,75	72,12	-0,36	-0,9
10	25091	0,1	50,6	70,8	46,8	35,32	55,72	70,94	62,01	8,93	-2,3
11	4346	1,8	48,1	65,2	49,9	36,05	54,92	67,01	62,01	5	-4,2
12	40396	1,4	51,4	69,5	55,1	39,35	58,78	70,84	67,11	3,73	-2,2
13	14957	1,8	40,7	63,8	50,5	35,99	60,96	65,68	55,22	10,47	1,3
14	22011	3,7	46,3	70,6	49,8	37,8	65,83	74,34	58,35	15,99	-2
15	8585	2,8	42,3	76,9	55,6	38,52	75,98	79,76	59,41	20,35	4,8
16	18612	3,3	38,8	66,7	59,9	39,58	70,74	69,98	59,09	10,89	-10,6
17	8549	1,8	55,5	63,3	48,7	35,91	45,54	65,1	68,24	-3,14	-6,3
18	6989	1	57,5	70	64,4	40,57	54,13	71,04	81,31	-10,27	-2,1
19	23967	0,3	54,6	73,2	47,6	37,67	56,57	73,48	64,55	8,93	-0,2

LVG ID	Fläche (ha)	Mroot	Iroot	Msoil	Saldo*	Saldo <sub>korrr</sub>	N-Bilanz (Zw.bil.)	Mobil.	Immob.	Mobil.-Immob.	Änd. Bodenvorrat Repro
20	90912	1,8	53,3	68,5	45,4	39,06	56,14	70,33	59,56	10,77	-2,2
21	66011	0,4	45,2	66,2	48,0	39,21	60,62	66,6	53,95	12,65	0,8
22	55857	1,1	48,1	69,5	51,6	40,97	63,47	70,58	58,7	11,87	2,2
23	59698	1,2	46	67,7	45,0	38,53	61,39	68,9	52,52	16,38	-3,2
24	34944	1,7	54	76,8	54,5	40,01	64,47	78,44	68,46	9,97	-3,4
25	8651	-0,1	48,2	49,2	43,3	34,77	35,67	49,09	56,74	-7,65	6,9
26	14582	0,3	52,7	44	43,2	36,33	27,93	44,29	59,64	-15,35	3,5
27	31888	1	50,5	60	46,1	39,56	50,09	61,01	57,03	3,98	1,8
28	13267	1,1	58,1	63,3	49,5	42	48,32	64,4	65,55	-1,14	-4,2
29	24426	0,2	49,4	61,2	44,6	37,39	49,42	61,39	56,56	4,84	-1,7
30	5401	0,5	61,2	68,2	61,6	44,18	51,67	68,72	78,65	-9,94	-1,9
31	63367	0,9	46,3	74,5	56,1	42,74	71,82	75,42	59,73	15,69	3,3
32	39261	0	44,7	61,3	58,7	43,56	60,14	61,27	59,81	1,46	4,6
33	23722	0,5	53,7	65,3	63,6	46,85	59,04	65,88	70,45	-4,57	3,7

Im Vergleich der N-Bilanz für **Ackerflächen** unter Berücksichtigung von N-Umsatzprozessen einschließlich Nachlieferung aus organischer Bodensubstanz mit den vom Auftraggeber bereitgestellten Salden ergeben sich im Landesmittel nur geringe Abweichungen. So wird eine Änderung des Bodenvorrats von  $-7,0 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$  modelliert. Bereits berücksichtigt ist in dieser Modellrechnung eine vom AG vorgenommene Korrektur der Humusgehalte und C/N-Verhältnisse in einzelnen LVG, da sich diese teilweise auf Grünlandflächen beziehen und somit ein zu hoher Bodenvorrat ausgewiesen wurde. In den LVG, in denen keine Korrektur vorgenommen wurde, erfolgte ersatzweise eine Abschneidung der Nachlieferung auf den Wert  $150 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ , wobei auch dieser Wert tendenziell zu hoch sein dürfte. Entweder sollte hier eine weitere Verringerung vorgenommen oder aber (vorzugsweise) eine vollständige Bereinigung der Humusgehalte und C/N-Verhältnisse vorgenommen werden. Die vom Auftraggeber bereitgestellten Rechnungen mit dem Modell Repro weisen eine Bodenvorratsänderung von  $-1,4 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$  aus. Dieser Wert ist jedoch aufgrund des unterschiedlichen Berechnungsverfahrens nicht direkt mit der über STOFFBILANZ modellierten Bodenvorratsänderung vergleichbar.

Abb17 und Tabelle 13 dokumentieren die vom Auftraggeber bereitgestellten (analog zu den anderen Nutzungen als Zwischenbilanz bezeichneten) N-Salden für **Grünlandflächen**.

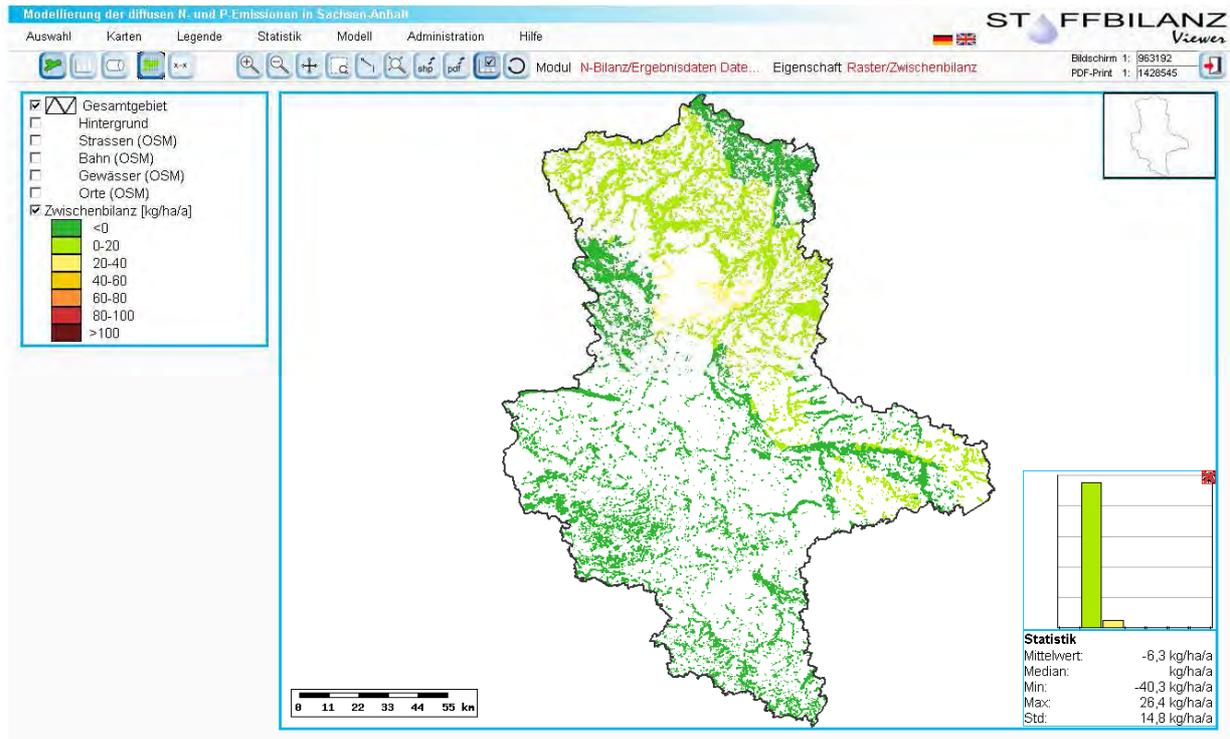


Abb. 17: Rasterbezogener Saldo (3jähriges Mittel) für Grünlandflächen (vom AG bereitgestellt)

Tabelle 13: Ergebnisse der Bilanzierung je LVG (3jähriges Mittel) für Grünlandflächen (vom Auftraggeber bereitgestellt)

LVG ID	Fläche (ha)	N-Saldo (kg ha <sup>-1</sup> a <sup>-1</sup> )
1	14745,5	0,6
2	18634,7	2,6
3	7833,3	4,9
4	13540	-0,7
5	4236,2	-8,1
6	12983,1	-4,2
7	3641,9	26,4
8	12585,7	5,2
9	4282,4	-11,3
10	9023,2	-3,3
11	1400,5	-0,8
12	4460,8	3,4
13	6645,7	0,9
14	3465,1	-24,3
15	2257,1	2,9
16	5213	14,1
17	2438,4	-6,9
18	609,7	11,1
19	2288,4	-14,8
20	2821,7	-35,3
21	4642	-39,3

LVG ID	Fläche (ha)	N-Saldo (kg ha <sup>-1</sup> a <sup>-1</sup> )
22	1669,1	-38,1
23	2267,2	-38,1
24	2437,9	-21,6
25	7394,1	-13,5
26	2602,4	-34,6
27	1161,5	-39
28	442,7	-29,5
29	2852,1	-40,3
30	1742,4	-6,7
31	1775,3	-24,8
32	3355,9	-19,1
33	2654,5	-21,4

Die Raster bezogene diffuse N-Bilanz (=Zwischenbilanz) für die **Wald-, Gehölz- und Heideflächen** ist in Abb. 18 dokumentiert.

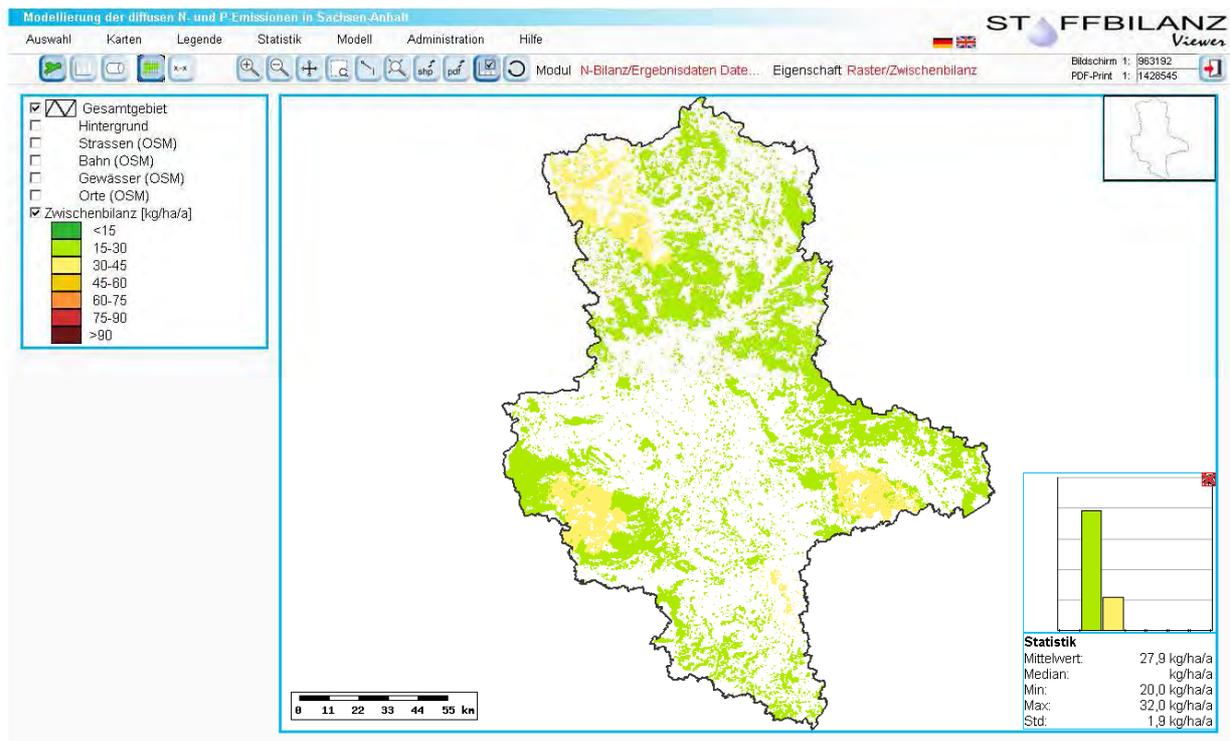
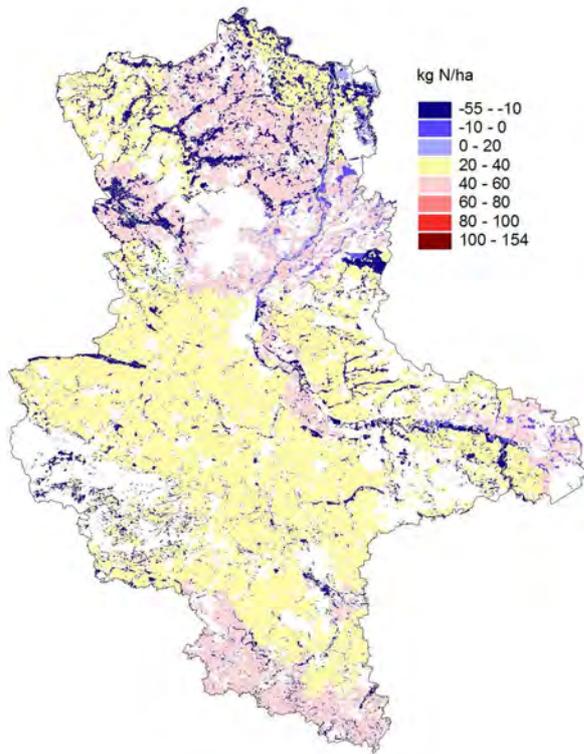


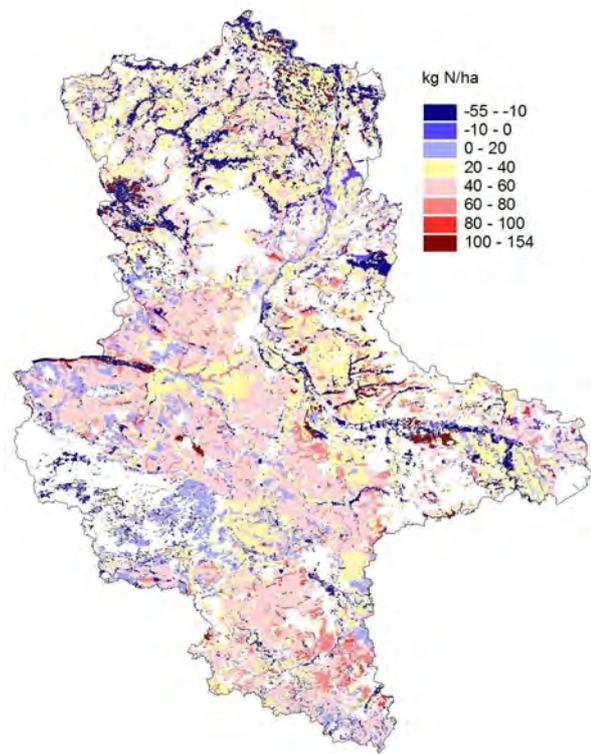
Abb. 18: Raster bezogene Zwischenbilanz für Wald

Wald/Forstflächen weisen je nach Standort eine Zwischenbilanz von 20 bis 32 kg N ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup> auf, Ackerflächen erreichen je nach LVG Werte zwischen 28 und 76 kg N ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup> (Zwischenbilanz) bzw. 36 bis 65 kg N ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup> (Saldo des Auftraggebers). Die Salden (AG) für Grünland schwanken je nach LVG zwischen -40 und 26 kg N ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup>.

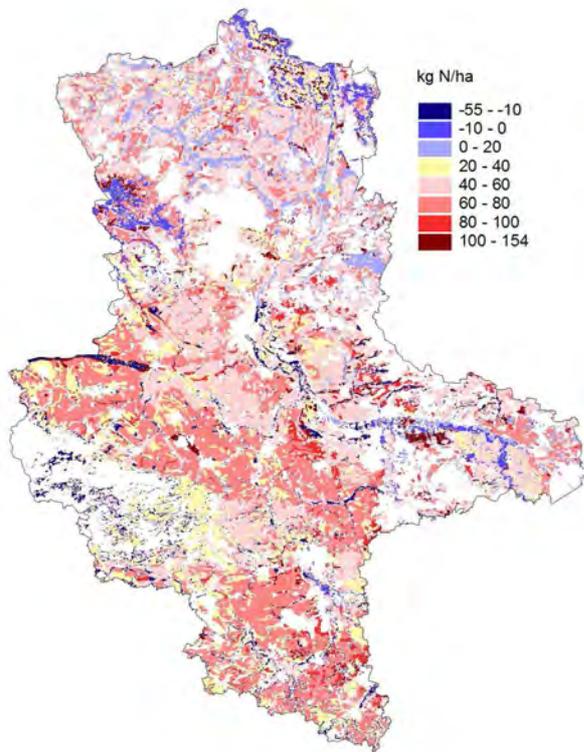
Die Karten der Abb. 19 zeigen einen Vergleich der Raster bezogenen Bilanzen. Sie zeigen die Spannweite der möglichen Emissionen, je nachdem welche Quellen und welcher Modelansatz einbezogen werden. Eine Plausibilisierung bzw. Validierung ist im Gesamtmodellverbund vorzunehmen.



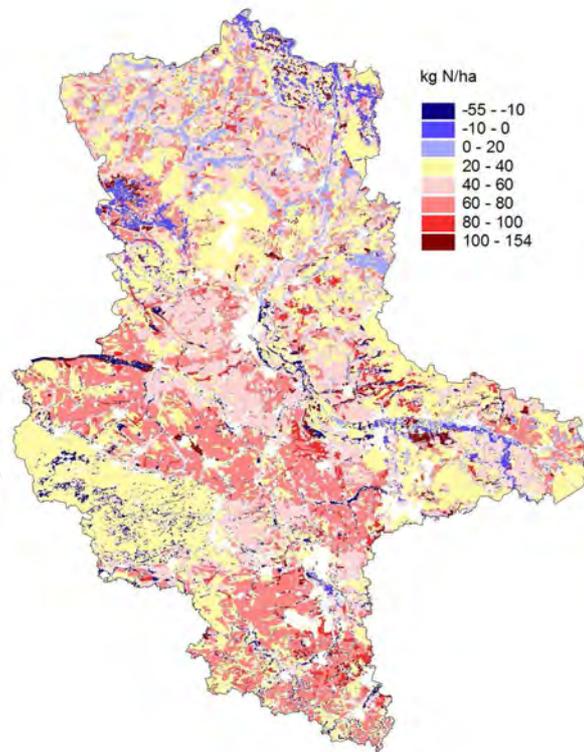
N-Bilanz AL, GL (ohne Dep. und ohne Netto-Min.)



N-Bilanz AL, GL (ohne Dep. und mit Netto-Min.)



N-Bilanz AL, GL (mit Dep. und mit Netto-Min.)



**N-Bilanz AL, GL, Wald  
(mit Dep. und mit Netto-Min.)**

Abb. 19: Vergleich der N-Bilanzen unter Einbeziehung verschiedener Quellen (3-jähriges Mittel).

## 6. Szenarien

Vom Auftraggeber wurden die Ergebnisse für folgende Szenarien als Bilanzwerte je LVG übergeben:

Szenario 1: Gesamtmaisbaufläche wird auf 150.000 ha erhöht (Erhöhung erfolgte bei Silomais, Flächenabzug erfolgte bei Winterraps).

Szenario 2: Gesamtmaisbaufläche wird auf 150.000 ha erhöht (Erhöhung erfolgte bei Silomais, Flächenabzug erfolgte bei Winterweizen (25% des Flächenzuwachses), Wintergerste (25% des Flächenzuwachses) und Winterraps (50% des Flächenzuwachses)).

Szenario 3: Aufgrund des technischen Fortschritts erhöhen sich die N-Entzüge um 5% (bei Winterweizen, Winterroggen, Wintergerste und Winterraps).

Szenario 4: Freiwillige Gewässerschutzleistungen. Der Saldo AL\_fgl stellt exemplarisch den Saldo auf den Ackerflächen mit freiwilligen Gewässerschutzleistungen dar. Beim Saldo AL\_gesamt ist der Saldo AL\_fgl dann gewichtet am Saldo der Gesamtackerfläche (Saldo Ist-Zustand) mit berücksichtigt. (vorläufige Auswertung!)

Die sich ergebenden N-Salden je LVG fasst Tabelle 14 zusammen. Die Ergebnisdifferenzen der Szenarien im Vergleich mit dem Ist-Zustand werden über die Differenzkarten in Abb.19 bis Abb. 22 verdeutlicht.

Tabelle 14: Salden von Ist-Zustand und Szenarien im Vergleich je LVG und Ackerfläche (vom Auftraggeber bereitgestellt)

LVG -ID	Ist-Zustand	Szenario 1	Szenario 2	Szenario 3	Szenario 4 AL_fgl	Szenario 4 AL_gesamt
<b>Salden [kg N ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup>]</b>						
1	56,8	53	53,7	53,7	-	-
2	59,4	55,5	56,1	56,4	-	-
3	58,5	54,7	55,5	54,9	-	-
4	46,9	43,5	44,2	43,0	-	-
5	35,9	34,1	34,3	34,0	-	-
6	57,9	54,1	54,6	55,3	-	-
7	64,8	61,6	62	61,7	-	-
8	57,9	54,7	55,3	54,4	-	-
9	56,2	53,5	54,4	51,0	-	-
10	46,8	43,4	44,2	42,3	-	-
11	49,9	46,9	47,6	45,7	-	-
12	55,1	52,4	53,3	50,8	-	-
13	50,5	47,6	48,1	47,8	-	-
14	49,8	47	47,7	46,9	-	-
15	55,6	53,4	53,8	53,1	-	-
16	59,9	56,9	57,2	57,5	-	-
17	48,7	44,8	45,7	43,6	-	-
18	64,4	60,8	61,7	58,9	-	-
19	47,6	45,3	46	41,2	45,8	47,6
20	45,4	43	43,9	39,3	45,5	45,4

LVG -ID	Ist-Zustand	Szenario 1	Szenario 2	Szenario 3	Szenario 4 AL_fgl	Szenario 4 AL_gesamt
21	48,0	45,5	46,5	41,5	-	-
22	51,6	48,8	49,8	45,4	45	51,6
23	45,0	41,8	42,8	39,3	46,3	45,1
24	54,5	51,1	52	49,4	46	54,3
25	43,3	41,1	42,1	38,4	-	-
26	43,2	40,7	41,9	37,5	45,8	43,4
27	46,1	43	44,2	39,8	45,9	46,1
28	49,5	46,6	47,6	43,7	-	-
29	44,6	41,3	42,6	38,6	44,2	44,5
30	61,6	58,3	59	56,2	48,2	61,6
31	56,1	52,5	53,3	50,6	47	55,2
32	58,7	55,6	56,5	52,6	46,5	57,3
33	63,6	60,1	61	57,6	-	-

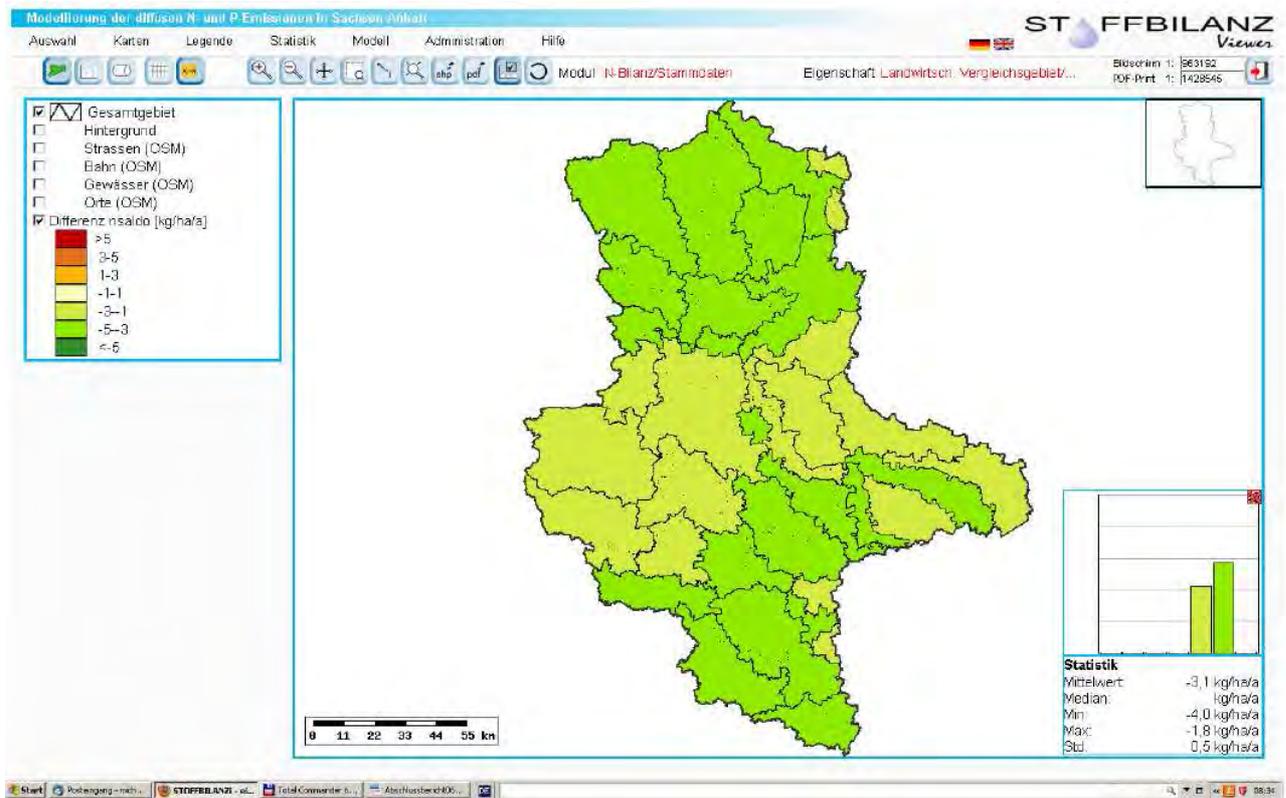


Abb. 19: Differenzkarte für den N-Saldo auf Ackerflächen [ $\text{kg N ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ ] je LVG Szenario 1 (Erhöhung Maisanteil) zu Ist-Zustand

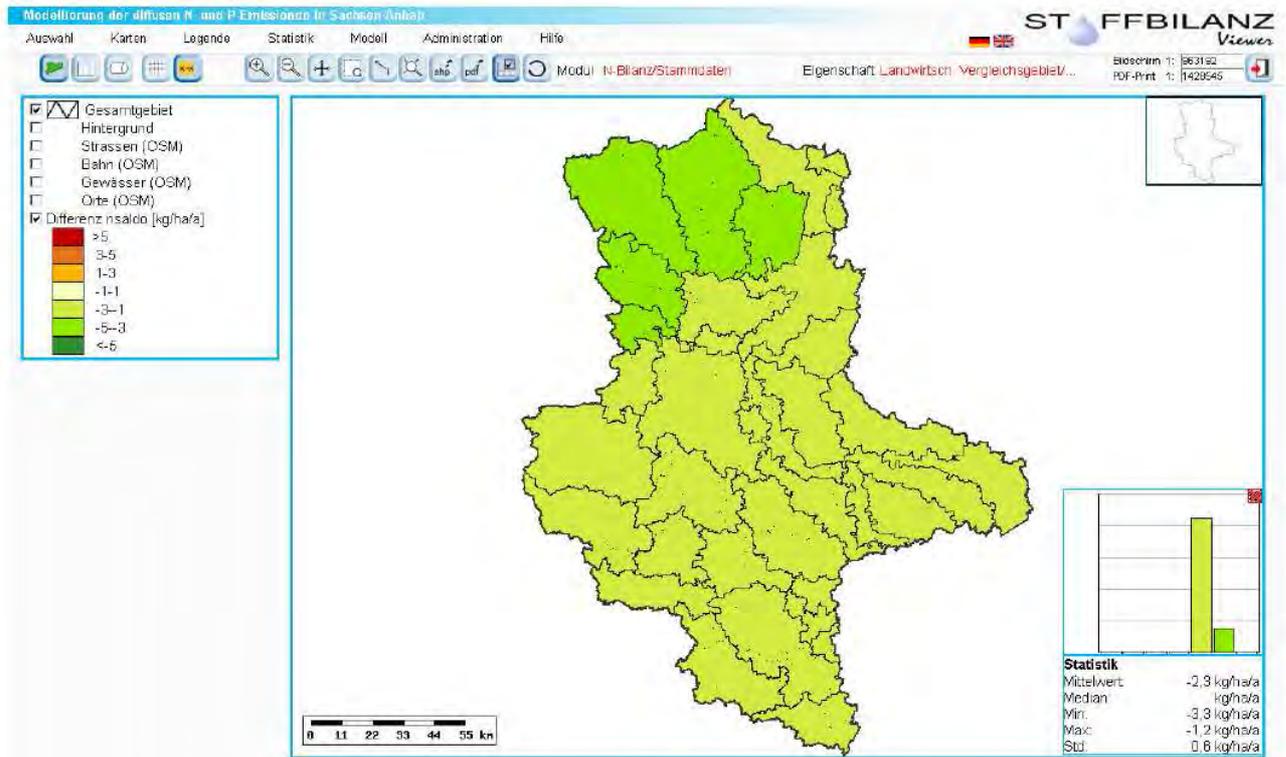


Abb. 20: Differenzenkarte für den N-Saldo auf Ackerflächen [ $\text{kg N ha}^{-1} \text{a}^{-1}$ ] je LVG: Szenario 2 (Erhöhung Maisanteil) zu Ist-Zustand

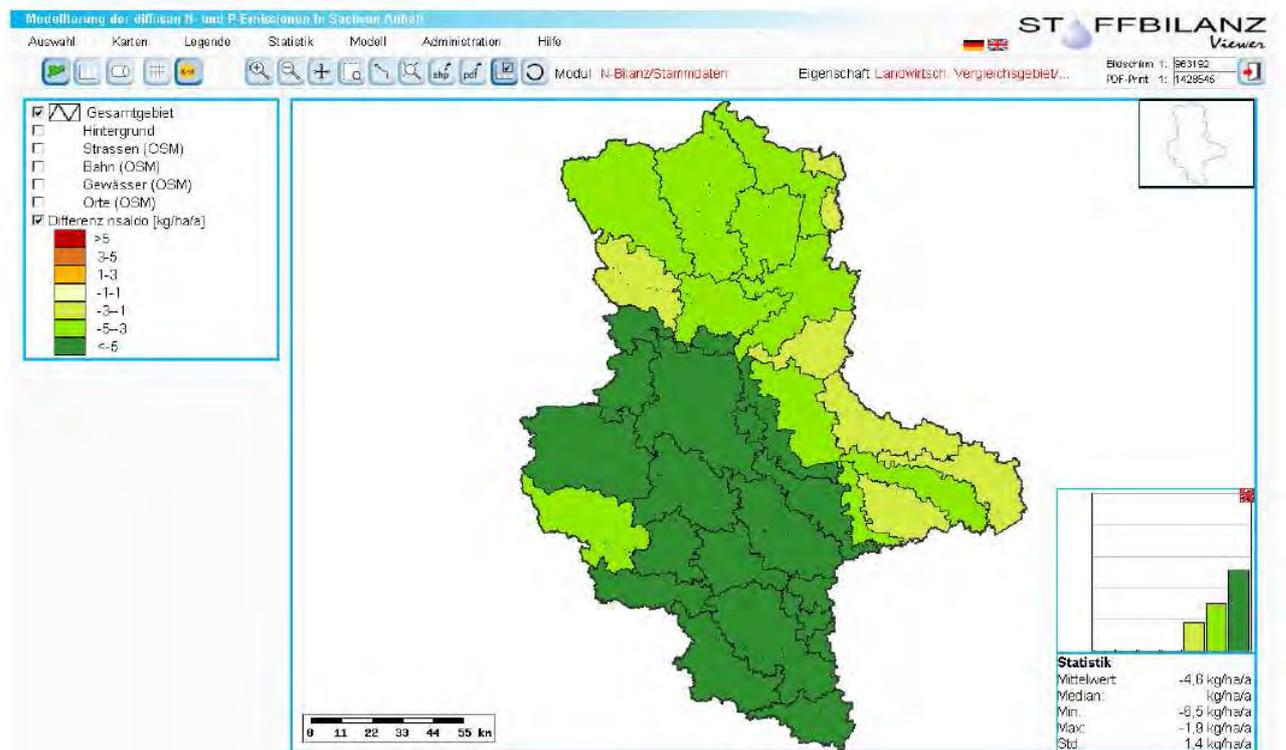


Abb. 21: Differenzenkarte für den N-Saldo auf Ackerflächen [ $\text{kg N ha}^{-1} \text{a}^{-1}$ ] je LVG: Szenario 3 (N-Effizienzsteigerung) - Ist-Zustand

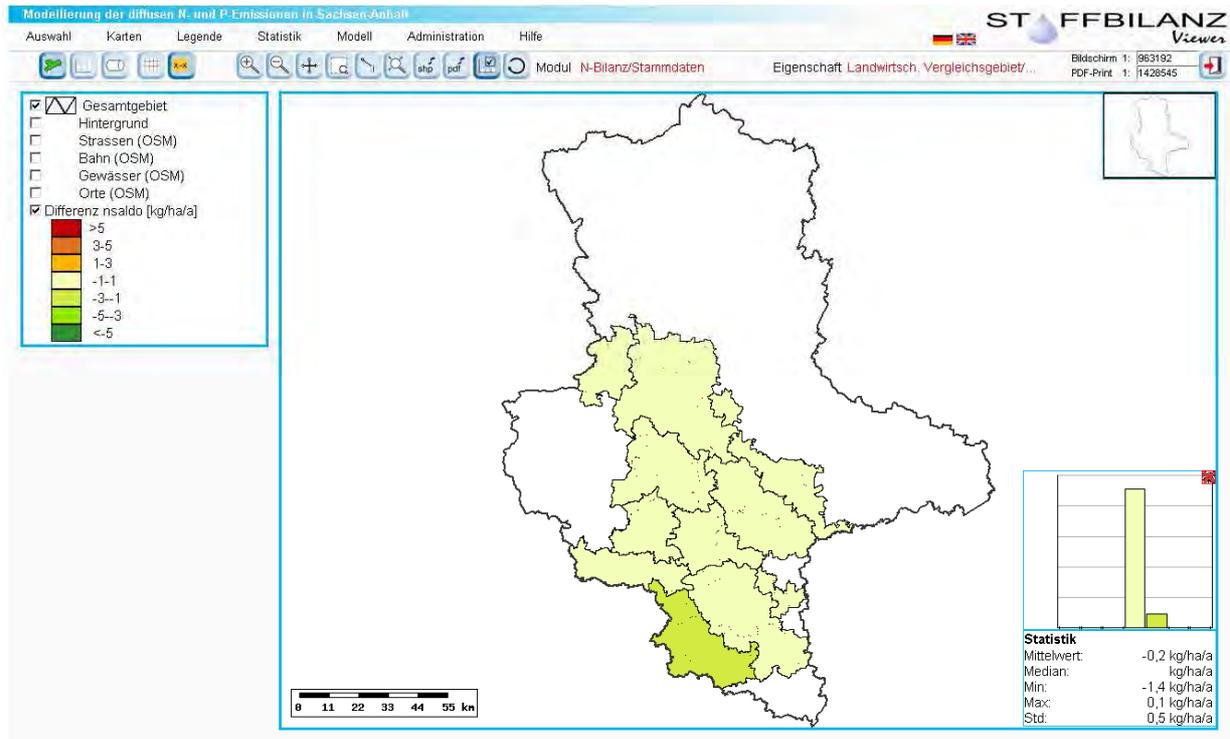


Abb. 22: Differenzkarte für den N-Saldo auf Ackerflächen [kg N ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup>] je LVG Szenario 4 (AL\_gesamt) - Ist-Zustand

## 6. Zusammenfassende Bewertung und Ausblick

Im Rahmen der vorliegenden Bearbeitung wurden zahlreiche Daten des Auftragnehmers datenbankseitig aufbereitet und im Rahmen der Web basierten Oberfläche STOFFBILANZ-Viewer visualisiert sowie eigene ergänzende Modellrechnungen vorgenommen.

Eigene Modellrechnungen beziehen sich im Wesentlichen auf

- die Ermittlung der flächenbezogenen N-Umsätze für Ackerflächen (Mobilisierung, Immobilisierung) unter Berücksichtigung der Erntereste, der N-Nachlieferung aus der organischen Bodensubstanz sowie der Wirtschaftsdüngung,
- die Ermittlung einer flächenbezogenen N-Bilanz (=Zwischenbilanz) unter Berücksichtigung der N-Umsätze im Boden,

Hinsichtlich der Abbildung der N-Nachlieferung aus der organischen Bodensubstanz sollten in zukünftigen Berechnungen Humusgehalte und C/N-Verhältnisse ausschließlich auf die Ackerfläche bezogen werden. Die vorliegende Datengrundlage lässt hier keine eindeutige Zuordnung zu, da auch Grünlandflächen mit höherer organischer Beeinflussung in den Ausgangsdaten enthalten sind. Im Ergebnis ergibt sich eine Überschätzung der N-Nachlieferung auf Ackerflächen, die durch Korrekturmaßnahmen (siehe Kapitel 3) minimiert werden konnte. Trotzdem würde eine strikte Trennung von Acker- und Grünlandflächen bei der Ableitung der Humusgehalte und C/N-Verhältnisse eine Erhöhung der Ergebnisplausibilität mit sich bringen. Die im Gebietsmittel errechnete leichte Verringerung des Bodenvorrats liegt geringfügig über derjenigen, die vom Auftraggeber mit dem Modell Repro ermittelt wurde, wobei in einzelnen LVG auch deutlichere Abweichungen auftreten. Beim Vergleich beider Ergebnisse ist zu beachten, dass

- der organische Bodenvorrats und somit auch die N-Nachlieferung aufgrund der teilweise zu hohen Humusgehalte (Problematik Acker/Grünland, siehe oben) im Modell STOFFBILANZ trotz vorgenommener Korrekturen wohl leicht überschätzt wurde,
- das Modell Repro nicht die Nachlieferung aus der organischen Bodensubstanz simuliert, sondern lediglich die bewirtschaftungsbedingte Änderung des Bodenvorrats.

Eine Korrektur der Humusgehalte und C/N-Verhältnisse sollte im Rahmen der Plausibilisierung des Gesamt-Modells erfolgen.

Anhand der übergebenen Szenarien ergeben sich in allen vier Fällen Entlastungen für die N-Bilanz von minimal 0,2 (Szenario 4) bis maximal 4,6 kg N ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup> (Szenario 3). Die Effekte der Bewirtschaftungsveränderungen im Hinblick auf den Sediment- und P-Eintrag wurden nicht betrachtet. Dies wäre mit der vorliegenden Modellsoftware relativ einfach möglich, da die notwendigen Funktionen implementiert sind.

## 7. Literatur

- Akkermann, M. (2004): Beurteilung des Einflusses einer angepassten Ackernutzung auf den Hochwasserabfluss. Diss., Hannover.
- Arman, B., Billen, N., Häring, G. (2002): Ein Nährstoff macht sich vom Acker. Ökologische und betriebswirtschaftliche Bewertung von Nitratverlusten und Maßnahmen zu deren Verminderung, In: Selbstverlag, Uni Hohenheim.
- Auerswald K. (1989): Predicting nutrient enrichment from long term average soil loss. Soil Techn., 2, S. 271 – 277.
- Auerswald K. (2000): Bodenerosion – Ursachen, Schutzmassnahmen und Prognose. Vorsorgender Bodenschutz. Ministerium für Umwelt und Forsten Rheinland-Pfalz, S. 17– 26.
- Auerswald K. & Schwertmann U. (1988): Modelle zur Erosionsvorhersage als Entscheidungsgrundlage des Bodenschutzes. In: Rosenkranz D., Bachmann G., Einsele G., Harreß H. M. [Hrsg.]: Bodenschutz. Berlin, Erich Schmidt Verlag.
- BAW (2005): Phosphataustrag aus landwirtschaftlich genutzten Flächen in Oberösterreich. Endbericht, Bundesamt für Wasserwirtschaft, Wien.
- Carter J., Owens P. N., Walling D. E., Leeks G. J. L. (2003): Fingerprinting suspended sediment sources in a large urban river system. The Science of the Total Environment, 314 – 316, 513 – 534.
- COST Action 869 (2006): Mitigation Options for Nutrient Reduction in Surface Water and Groundwaters. 164th CSO Meeting 29 – 30 March 2006, Proposal for a new COST Action.
- Duttmann R. (1999): Partikuläre Stoffverlagerungen in Landschaften. Ansätze zur flächenhaften Vorhersage von Transportpfaden und Stoffumlagerungen auf verschiedenen Maßstabsebenen unter besonderer Berücksichtigung räumlich-zeitlicher Änderungen der Bodenfeuchte. Geosynthesis 10, Universität Hannover.
- Edwards, W.M., Shipitalo, M.J., Owens, L.B., Norton, L.D. (1989): Water and nitrate movement in earthworm burrows within long-term no-till cornfields. J. Soil Water Conserv. 44:240-243.
- Freistaat Sachsen (2004): Landwirtschaftlicher Bodenschutz. Schriftenreihe der Sächsischen Landesanstalt für Landwirtschaft, Heft 10 – 9. Jahrgang 2004.
- Gaynor J. D., Findlay, W. I. (1995): Soil and phosphorus loss from conservation and conventional tillage in corn production. J. Environ. Qual., 24, 734-741.
- Gebel, M., Halbfaß, S., Grunewald, K., Kaiser, M., Bürger, S. (2010a): STOFFBILANZ – Modellerläuterung. Adresse: <http://www.stoffbilanz.de>
- Gebel, M., Halbfaß, S., Bürger, S., Uhlig, M., Pöschke, F. (2010b): Quellen- und pfadbezogene Modellierung diffuser Phosphoreinträge in den Arendsee. Unveröff. Forschungsbericht im Auftrag des Landesbetriebs für Hochwasserschutz und Wasserwirtschaft Sachsen-Anhalt.
- Ghadiri, H. & Rose, C.W. (1991a): Soil processes and chemical transport. Sorbed chemical transport in overland flow. 1. A nutrient and pesticide enrichment mechanism, J. Environ. Qual., 20, p.628-633.
- Ghadiri, H. & Rose, C.W. (1991b): Soil processes and chemical transport. Sorbed chemical transport in overland flow. 2. Enrichment ratio variation with erosion process, J. Environ. Qual., 20, p.634-641.
- Halbfaß, S. (2005): Entwicklung eines GIS-gestützten Modells zur Quantifizierung diffuser Phosphoreinträge in Oberflächengewässer im mittleren Maßstab unter Berücksichtigung geoökologisch wirksamer Raumstrukturen. Diss., Rhombos-Verlag, Bd. 1, Berlin.
- Halbfaß, S., Gebel, M., Friese, H., Grunewald, K., Mannsfeld, K. (2009): Atlas der Nährstoffeinträge in sächsische Gewässer (19 Oktober 2011; [https://publikationen.sachsen.de/bdb/download.do?jsessionid=25291D6B2BB376FE6022FC6292017180.bdb\\_lb?id=2296290](https://publikationen.sachsen.de/bdb/download.do?jsessionid=25291D6B2BB376FE6022FC6292017180.bdb_lb?id=2296290)), 2009.
- Halbfaß S. & Grunewald K. (2006): Abschätzung potenzieller Herkunftsflächen von erosionsbedingten Stoffeinträgen in Oberflächengewässer im mittleren Maßstab. Wasserwirtschaft, 12, S. 28 – 32.
- Halbfaß S. & Grunewald K. (2008): Ermittlung räumlich verteilter Sediment Delivery Ratio zur Modellierung von Sedimenteinträgen in Fließgewässer im mittleren Maßstab. Wasserwirtschaft, 3, S. 31– 35.

- Kaiser, M. & Gebel, M. (2003): Quantifizierung diffuser Stoffeinträge mit dem Modell STOFFBILANZ in einem bewaldeten Gewässereinzugsgebiet im Mittelgebirge. *Geoöko* 24 (3-4), 262-269.
- Kielhorn, C. (2005): Maßnahmen zur Reduzierung des Sedimenteintrages eines Geestgewässers am Beispiel des Börnsengrabens - Herzogtum Lauenburg. Dipl.-Arbeit, Hamburg.
- Kinnell, P.I.A. (2001): The USLE-M and Modeling Erosion within Catchments. In: Stott, D.E., Mohtar, R.H., Steinhardt, G.C. (eds.): *Sustaining the Global Farm: Selected papers from the 10<sup>th</sup> International Soil Conservation Organization Meeting, May 24-29, 1999 at Purdue University and the USDA-ARS National Soil Erosion Research Laboratory*, pages 924-928
- Koch, R. (2007): Uferzonen von Fließgewässern in Kleineinzugsgebieten der Region Basel. Diss., Basel.
- Lammers A. (1997): Phosphatformen und Phosphatfreisetzung in hochgedüngten Böden Europas. Diss., Agrarwissenschaften München.
- LAP (2004): Stickstoff-Düngeberatungssystem des Landes Baden-Württemberg – Düngeberechnung für Acker- und Sonderkulturen. Landesanstalt für Pflanzenbau Forchheim / Infodienst Bad.- Württemberg.
- Lennartz B. (2005): Ausgewählte Aspekte der Sickerwasserprognose – Aktivitäten der AG „Sickerwasser und Stofftransport“ der DWA . In : Melchior S. & K. Berger, 2005 (Hrsg.) : Abfallverwertung bei der Rekultivierung von Deponien, Altlasten und Bergbaufolgelandschaften. *Hamburger Bodenkundliche Arbeiten*, Band 56 (ISSN: 0724-6382) 56, 55-70.
- Mary, B. and Guérif, J. (1994): Intérêts et limites des modèles de prévision de l' évolution des matières organiques et de l'azote dans le sol, *Cahiers Agricoles*, 3, 247-257
- Meynard, J.M. and Justes, E. and Machet, J.M. and Recous, S. (1996): Fertilisation azotée des cultures annuelles de plein champ, In: Lemaire, G. & Nicolardot, B. (Eds.): *Maitrise de l'azote dans les agro-systèmes. Les colloques de l'INRA*, INRA, Reims, 183-199
- Michael, A., Schmidt, J. und Schmidt, W. (1996): *EROSION 2D ein Computermodell zur Simulation der Bodenerosion durch Wasser - Band II Parameterkatalog*, Freiberg.
- Michels A. (2005): Charakterisierung des Transportverhaltens von Mikrosphären in Böden unterschiedlicher Nutzung und Bearbeitung. Diss., Gießen.
- Nagel, H.D. & Gregor, H.D. (1999): *Ökologische Belastungsgrenzen: Ein internationales Konzept für die Luftreinhaltepolitik (Critical Loads & Levels)*. Springer, Berlin, Heidelberg.
- Niehoff D. (2001): Modellierung des Einflusses der Landnutzung auf die Hochwasserentstehung in der Mesoskala . Diss., Potsdam.
- Prasuhn, V. (2003): Abschätzung der Phosphoreinträge aus diffusen Quellen in den Greifensee. Bericht FAL, Zürich.
- Scherrer S. (2006): Bestimmungsschlüssel zur Identifikation von hochwasserrelevanten Flächen . Landesamt für Umwelt, Wasserwirtschaft und Gewerbeaufsicht Rheinland-Pfalz , Bericht 18/2006 .
- Schliephake, W. & Albert, E. (2003): Vermeidung von Stickstoffverlusten. Schriftenreihe der Sächsischen Landesanstalt für Landwirtschaft, Heft 9, Dresden.
- Schobel, S. (2002): Infiltrations- und Bodenabflussprozesse in Abhängigkeit von Landnutzung und Substrat in der Trier-Bitburger Mulde . Diss., Trier.
- Schaub D. & Wilke B. (1996): Phosphatanreicherung bei der Bodenerosion. *Mitt. Dtsch. Bodenkdl. Ges.*, 79, 435 – 438.
- SLfL [Hrsg.](2007): Umsetzung der Düngeverordnung – Hinweise und Richtwerte für die Praxis. Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft, Dresden.
- Tressel E. (2001): Bodenhydrologische Untersuchungen in der Trier-Bitburger-Mulde auf der Basis eines Lysimeter- und Bodenfeuchtemessnetzes . 9. Gumpensteiner Lysimetertagung, 24. und 25. April 2001 , BAL Gumpenstein
- University of Wisconsin-Extension (1997): Urban runoff – a source of concern. GWQ020, Madison.
- Veith T. L. (2002): Agricultural BMP placement for cost-effective pollution control at the watershed level. Virginia Polytechnic Institute and State University.
- Voges J. (1999): Empirisches Modell für die mittlere Maßstabsebene zur GIS-gestützten Bestimmung der Anbindung erosionsgefährdeter Ackerflächen an Fließgewässer. Diss. Univ. Hannover.

- Weiler M. H. (2001): Mechanisms controlling during macropore flow during infiltration. Dye tracer experiments and simulations . Diss. ETHZ, No. 14237 .
- Wischmeyer W. H. & Smith D. D. (1978): Predicting rainfall losses – a guide to conservation planning. USDA Agriculture Handbook, 537, 1– 58.
- Wu S., Li J., Huang G. (2005): An evaluation of grid size uncertainty in empirical soil loss modelling with digital elevation models. Environmental Modelling and Assessment, 10 (1), 33 – 42.
- Zimmermann, F. (2003): Einfluss unterschiedlicher Bodenbearbeitung von Ackerflächen auf den sickerwassergebundenen Stofftransport – untersucht mit Hilfe von Experimenten an Bodensäulen. Diplomarbeit. Universität Leipzig.